



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental

**Factibilidad técnica y económica de un sistema de
tratamiento para la reutilización de aguas residuales
generadas en la producción de aceitunas de mesa,
sector de Jahuel, Región de Valparaíso, Chile.**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERA AMBIENTAL

Autoras: Anyel Palacios Huerta y Macarena Hidalgo Vargas
Profesor Guía: Dr. Ociel Cofré Carvajal

Valparaíso, Chile
2020

RESUMEN

En el contexto de la arrasante sequía que enfrenta el Valle del Aconcagua en Chile, el sector de Jahuel es uno de los más afectados dentro de la Provincia de San Felipe; declarada según el Ministerio de Obras Públicas (MOP), como zona de escasez hídrica mediante el Decreto N°18 del año 2020.

Debido a que en Jahuel la mayor actividad económica es la producción de aceituna de mesa y sus derivados - procesos que dependen totalmente del recurso hídrico- es que la comunidad al ver en riesgo su sustento económico, ha buscado implementar un mecanismo para reutilizar las aguas recuperadas de sus procesos y así destinarlas al riego de sus plantaciones de olivo; tanto para sobrellevar la escasez de agua, como para encontrar la forma más sostenible de llevar a cabo sus producciones. Es por esta razón, que el presente trabajo busca establecer la factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de tratamiento de los efluentes generados en la producción de aceitunas, tendiente a la reutilización de las mismas.

Dichos efluentes, específicamente los provenientes de las etapas de sodificación y lavado, son los que forman parte del interés de este estudio; los cuales destacan por ser altamente contaminantes, de tipo alcalino y con elevada concentración de hidróxido de sodio (NaOH). Además, poseen una alta cantidad de compuestos inorgánicos y orgánicos, cuya presencia genera importantes concentraciones de DQO y DBO (del orden de 25.000 mg/L y 13.000 mg/L respectivamente), que exceden las normativas vigentes e imposibilita el reúso de los efluentes directamente para riego o su descarga a sistema de alcantarillados, acuíferos y cuerpos de aguas marinos o continentales superficiales.

El diseño del sistema de tratamiento propuesto, se basó en tratamientos físico-químicos, entre los que destacan: flotación por ozono disuelto, neutralización y desalinización por osmosis inversa; diseño que debiese lograr entre un 90-98% de remoción de DQO, DBO y SST, y la eliminación total de NaOH de las aguas.

La instalación del sistema tiene un costo de inversión aproximado de \$16.410.000 CLP y genera un ahorro mensual en costos fijos de los agricultores y agricultoras de aproximadamente \$296.000 CLP.

Como resultado se obtuvo que la implementación del sistema propuesto es factible tanto técnica como económicamente, pudiendo así dar solución a la problemática y evitando potenciales impactos ambientales y pérdidas económicas que puedan afectar a los productores y productoras de la aceituna de mesa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Proceso de elaboración de aceitunas de mesa	2
1.1.1. Cosecha	3
1.1.2. Calibración	4
1.1.3. Sodificación	4
1.1.4. Lavado	5
1.1.5. Fermentación	5
1.1.6. Preparación para la venta.....	6
1.2. Riego del olivo	7
1.2.1. Requisitos de calidad de agua para riego (NCh N°1333, de 1987)	7
1.2.2. Métodos de riego	9
1.3. Contaminación generada por la industria de la aceituna de mesa	10
1.4. Características de las aguas generadas	12
1.5. Alternativas de tratamientos e iniciativas	15
1.5.1. Pretratamientos físico-químicos.....	18
1.5.2. Tratamientos biológicos	19
1.5.3. Tratamientos con membranas.....	20
1.5.4. Medidas de control para disminuir el volumen de las aguas residuales.....	23
1.6. Marco legal aplicable a la descarga de RILES en la producción de aceitunas de mesa	25
2. PROBLEMA	27
3. OBJETIVOS	28
3.1. Objetivo general	28
3.2. Objetivos específicos	28
4. CAPACIDAD Y UBICACIÓN DE LA PLANTA	29

4.1. Capacidad de la planta	29
4.2. Ubicación de la planta	30
5. SÍNTESIS Y SELECCIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS.....	33
5.1. Separación sólido-líquido	35
5.2. Sistema de almacenamiento de aguas para tratamiento	37
5.2.1. Volumen del estanque de almacenamiento	38
5.2.2. Tipos de estanque de almacenamiento	40
5.3. Flotación.....	40
5.3.1. Sistema de flotación por aire disuelto (Dissolved Air Flotation System, DAF)	41
5.3.2. Sistema de flotación por aire inducido (Induced Air Flotation System, IAF)	42
5.4. Neutralización	42
5.5. Coagulación y floculación	43
5.5.1. Coagulación	44
5.5.2. Factores que influyen en el proceso de coagulación	46
5.5.3. Etapas o fases de la coagulación	49
5.5.4. Floculación	49
5.6. Sistemas de sedimentación	51
5.6.1. Velocidad de sedimentación	52
5.6.2. Tipos de sedimentadores	54
5.7. Filtración	55
5.7.1. Filtro de arena	56
5.7.2. Filtro de carbón activo.....	57
5.8. Sistemas de desalinización	57
5.8.1. Procesos con membrana	58
5.8.2. Procesos térmicos	63

5.8.3. Procesos carga eléctrica de iones	70
5.8.4. Comparación de alternativas de sistemas de desalinización	73
5.9. Sistemas de almacenamiento de aguas tratadas	73
6. BALANCE DE MATERIA	75
6.1. Aguas de entrada al sistema de tratamiento.....	75
6.2. Sistema de almacenamiento de agua residual	78
6.3. Sistema de flotación por ozono disuelto (Dissolved Ozone Flotation System, DOF)	78
6.3.1. Carga másica removida	80
6.3.2. Masa de lodo removida	82
6.3.3. Consumo de ozono	83
6.3.4. Balance de materia sistema de flotación	84
6.3.5. Agua que sale del sistema	84
6.4. Sistema de neutralización y sedimentación	85
6.4.1. Ácido clorhídrico para la neutralización	86
6.4.2. Consumo de coagulante	89
6.4.3. Generación de cloruro de sodio en la neutralización	90
6.4.4. Carga másica removida	91
6.4.5. Masa de lodo removida	92
6.4.6. Balance de materia	93
6.4.7. Agua que sale del sistema	93
6.5. Sistema de filtración.....	93
6.5.1. Carga másica removida	94
6.5.2. Masa de lodo removida	95
6.5.3. Balance de materia sistema de filtración.....	95
6.5.4. Agua que sale del sistema	95

6.6. Sistema de ósmosis inversa	96
6.6.1. Carga másica removida	97
6.6.2. Remoción de elementos químicos en ósmosis inversa.....	97
6.6.3. Producción de salmuera	98
6.6.4. Ciclos de recirculación de salmuera.....	99
6.6.5. Estimación de cantidad de agua apta para uso de riego	103
6.7. Balance general	105
7. BALANCE DE ENERGÍA	106
7.1. Bombas	106
7.1.1. Tiempo de uso diario	112
7.2. Equipos.....	113
7.2.1. Equipo de flotación (DOF)	113
7.2.2. Equipo ósmosis inversa	113
8. DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	114
8.1. Sistema separación sólido-líquido.....	114
8.2. Estanque de almacenamiento N°1	117
8.3. Equipo de flotación	119
8.4. Equipo de sedimentación	121
8.5. Equipo de ósmosis inversa	125
8.6. Estanque de almacenamiento N°2	127
8.7. Estanque de almacenamiento de salmuera y lodos	128
9. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	129
9.1. Organización espacial del sistema de tratamiento	129
9.2. Requerimientos operacionales en el sistema de tratamiento	130
9.2.1. Requerimientos etapa separación sólido-líquido	130

9.2.2. Requerimiento y recomendaciones para neutralización, coagulación y sedimentación ..	131
9.2.3. Requerimientos en mantenimiento y uso de equipos.....	131
10. ESTUDIO DE COSTOS	133
10.1. Costos de materiales y equipos.....	133
10.2. Costos asociados a la mantención de materiales y equipos	135
10.3. Costos fijos y posibles ahorros	137
10.3.1. Compra de agua para riego	137
10.3.2. Retiro de aguas residuales.....	138
10.3.3. Retiro lodos y salmuera	138
10.3.4. Consumo energético	139
10.4. Análisis de costos y ahorros	141
11. DISCUSIÓN.....	143
12. CONCLUSIONES	149
13. BIBLIOGRAFÍA.....	151
14. ANEXOS	161
14.1. Cotizaciones de los principales materiales y equipos	161
14.1.1. Electrobomba 0,3 HP	161
14.1.2. Equipo de flotación por aire disuelto (DAF).....	162
14.1.3. Generador de ozono.....	163
14.1.4. Equipo de ósmosis inversa	164
14.1.5. Estanques	165
14.1.6. Compuestos químicos	166
14.2. Hojas de seguridad de compuestos químicos.....	168
14.2.1. Cloruro Férrico.....	168
14.2.2 Ácido Clorhídrico	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fases de la fermentación, variables de pH, concentración salina y duración de la fase fermentativa (Arancibia, 2006).	6
Tabla 2: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua de riego (NCh N°1333, 1987).	8
Tabla 3: Clasificación de aguas para riego según su salinidad (NCh N°1333, 1987).	9
Tabla 4: Valores de eficiencia de aplicación promedio para diferentes métodos de riego (Tapia <i>et al.</i> , 2017).	10
Tabla 5: Parámetros característicos de las aguas residuales generadas en el proceso de elaboración de aceituna de mesa verde “estilo español”. (Adaptado de: Ozdemir & Keskinel, 2018; Carbonell, 2017; Borgo, 2013; Cifuentes, 2017; Miranda, 2017; Fernández, <i>et al.</i> , 2001; López, 2007; Montes, 2011). .	14
Tabla 6: Aplicabilidad del decreto N°609/1998 a la descarga de RILES (DS N°609, 1998).	25
Tabla 7: Aplicabilidad del decreto N°90/2000 a la descarga de RILES (DS N°90, 2000).	25
Tabla 8 : Aplicabilidad del decreto N°46/2002 a la descarga de RILES (DS N°46, 2002).	26
Tabla 9: Coeficiente de evacuación de las aguas residuales por operación. (Adaptado de: Borgo, 2013; Cifuentes, 2017; Fernández <i>et al.</i> , 2001).	30
Tabla 10: Valores de sedimentación según diámetro de la partícula (Pérez, 2005).	53
Tabla 11: Comparación de alternativas de sistemas de desalinización.	73
Tabla 12: Características agua residual de entrada al sistema de tratamiento. (Tabla generada a partir de	77
Tabla 13: Características químicas de aguas residuales del proceso de cocido más un lavado. Adaptado de (Borgo, 2013).	78
Tabla 14: Potencias y energía diaria consumida por el sistema de tratamiento.	106
Tabla 15: Materiales y equipos sistema de separación sólido-líquido.	115
Tabla 16: Materiales conducción de efluente hacia estanque de almacenamiento N°1.	116
Tabla 17: Materiales para el estanque de almacenamiento.	118
Tabla 18: Materiales y equipos conducción de efluente hacia equipo de flotación.	119
Tabla 19: Materiales y Equipos para sistema de flotación DOF.	120
Tabla 20: Materiales y equipos sedimentación.	122
Tabla 21: Materiales conducción de efluente hacia equipo de osmosis inversa.	124
Tabla 22: Materiales y equipos osmosis inversa.	126

Tabla 23: Material del estanque de almacenamiento N°2.	127
Tabla 24: Material del estanque de acumulación salmuera y lodos	128
Tabla 25: Análisis de costo de equipos y materiales del sistema completo.	133
Tabla 26: Gasto generado en repuesto de compuesto químico cada 3 meses.	136
Tabla 27: Valor repuestos equipo de osmosis inversa asumiendo un 15% del costo total del equipo.	137
Tabla 28: Gastos fijos para producción de aceituna de mesa.	137
Tabla 29: Consumo mensual en kWh de los equipos del sistema de tratamiento.	139
Tabla 30: Cargos del suministro eléctrico.	140
Tabla 31: Análisis costos sin sistema de tratamiento y con sistema de tratamiento.	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Proceso de elaboración aceituna tipo verde estilo sevillano o español. (Adaptado de: Tapia & Arancibia, 2001; Arancibia, 2006).	3
Figura 2: Tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales (Ferrer, 2017).	18
Figura 3: Características de los diferentes tipos de filtración (Teichert <i>et al.</i> , 2017).	21
Figura 4: Localización Comuna de Santa María en la V Región de Valparaíso (PLADECO, 2016).	32
Figura 5: Ubicación espacial de Jahuel (Google Maps, 2020).	32
Figura 6: Esquema general del sistema de tratamiento de las aguas generadas en la producción de aceitunas.	34
Figura 7: Rejilla de limpieza mecánica con peine giratorio. (Lozano, 2012).	36
Figura 8: Rejilla de limpieza mecánica con barras dentadas (Lozano, 2012).	36
Figura 9: Rejilla de limpieza manual (CONAGUA, 2019).	37
Figura 10: Rejilla de limpieza manual.	37
Figura 11: Diagramas de masa esquemáticos para la determinación del volumen de homogeneización necesario para dos tipos de variaciones de caudales (Metcalf & Eddy, 1995).	38
Figura 12: Estanque de almacenamiento de agua de 10.000 L.	40
Figura 13: Proceso de flotación (Teichert <i>et al.</i> , 2017).	41
Figura 14: Coagulación (Andía, 2000).	45
Figura 15: Proceso de sedimentación	51
Figura 16: Zonificación de un sedimentador (CEPIS/OPS, 2004).	54

Figura 17: Sedimentador estático de flujo vertical (CEPIS/OPS, 2004).....	55
Figura 18: Proceso de desalación, adaptado de (CIRCE, 2001).....	58
Figura 19: Esquema general de una planta de Ósmosis inversa (Dévora <i>et al.</i> , 2011).	60
Figura 20: Equipo de Ósmosis inversa.....	60
Figura 21: Esquema de proceso de electrodiálisis (Guía de desalación, 2009).	61
Figura 22: Esquema general de una planta de electrodiálisis de celdas de dos compartimientos (Medina, 2007).	62
Figura 23: Equipo de electrodiálisis.....	63
Figura 24: Destilador MSF (Hernández, 2011).....	64
Figura 25: Proceso de evaporación multi efecto (3 EFECTOS) (Arreguín & Martín, 2000).	65
Figura 26: Equipo de destilación por múltiple efecto (MED) (Tuset, 2019).....	66
Figura 27: Representación esquemática del proceso de compresión mecánica de vapor (Rojas, 2016).	69
Figura 28: Desaladora compresión mecánica de vapor (Rojas, 2016).....	69
Figura 29: Equipo de desalación por compresión mecánica de vapor.	70
Figura 30: Perlas de resina utilizadas en el tratamiento de agua mediante intercambio iónico	71
Figura 31: Esquema general de una columna de intercambio iónico con lecho fijo (Sánchez, 2015). ..	72
Figura 32: Equipo de intercambio iónico.....	72
Figura 33: Ejemplo estanques de almacenamiento de agua, entre 10.000 y 30.000L de capacidad.....	74
Figura 34: Balance de materia del proceso de flotación DOF.....	79
Figura 35: Balance de materia del proceso de neutralización/sedimentación.....	86
Figura 36: Balance de materia del proceso de filtración.	94
Figura 37: Balance de materia en el equipo de osmosis inversa.	96
Figura 38: Balance general del sistema de tratamiento.	105
Figura 39: Esquema de dimensiones y materiales propuestos de la conducción del fluido desde el estanque de almacenamiento N°1 hacia el equipo de flotación.	108
Figura 40: Esquema del sistema de tratamientos de aguas.	114
Figura 41: Esquema sistema separación sólido-líquido.....	115
Figura 42: Conducción efluente producido en la planta de producción hacia estanque de almacenamiento N°1.....	116
Figura 43: Dimensiones para lugar de instalación del estanque de almacenamiento N°1.	117

Figura 44: Conducción efluente estanque de almacenamiento N°1 hacia el sistema de flotación DOF.	118
Figura 45: Esquema sistema de DOF.	120
Figura 46: Conducción del efluente producido en equipo de flotación.	121
Figura 47: Dimensiones instalación equipo sedimentador.	122
Figura 48: Conducción efluente producido en tanque sedimentador hacia el equipo de osmosis inversa.	124
Figura 49: Esquema diseño y dimensiones equipo de osmosis inversa.	125
Figura 50: Conducción del efluente producido desde el equipo de ósmosis inversa.	127
Figura 51: Organización espacial del sistema de tratamiento para aguas residuales de aceituna de mesa.	129
Figura 52: Modelo del sistema de tratamiento propuesto.	130

1. INTRODUCCIÓN

El olivo es un cultivo milenario utilizado tanto para la elaboración de aceite como de aceitunas de mesa y su origen se puede situar dentro del área Mediterránea y otras zonas cercanas, parte de Asia Menor y de la India, África y Europa (Fernández *et al.*, 2001). Los primeros olivos llegaron a América desde Sevilla con los colonizadores españoles. En el año 1560 ya existían plantaciones en México, y algunos años más tarde en Perú, California, Chile y Argentina, donde una de las plantas acarreadas durante la conquista vive hasta hoy. El primer registro de cultivo de aceitunas sevillanas en Chile data de 1834, cuando el célebre naturalista inglés Charles Darwin al recorrer la actual provincia de San Felipe, constató la existencia de olivares, los que hoy en día están en manos de pequeños productores locales (FIA, 2020).

Aproximadamente el 10% de la producción en el mundo se destina al uso de aceituna de mesa, con un importante incremento a nivel mundial hacia la década del 90 (1.000.000 ton/año), con respecto a los años anteriores (650.000 ton/año). Por otra parte, en los últimos años, debido a la creciente demanda mundial por consumir alimentos saludables y de buen aporte funcional, se ha generado gran interés por el cultivo de esta especie en Chile, incrementándose en más de 700% la superficie cultivada en los últimos 20 años (Tapia *et al.*, 2017), así mismo, según la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Gobierno de Chile, entre los años 2008 y 2018 hubo un aumento en un 158,4% de superficie plantada de estos árboles frutales (Dominguez *et al.*, 2019). Sin embargo, este aumento se basa en principalmente en el cultivo de variedades aceiteras por grandes empresas, donde la producción aceitera ocupa más del 88% de esta superficie, quedando con el 1,1% con variedades de mesa (principalmente sevillana) (Tapia *et al.*, 2017), que corresponde a la primera variedad cultivada en Chile, en donde la producción de estas está principalmente en manos de pequeños y medianos productores que procesan con sistemas artesanales, orientados a los mercados locales y la “venta al paso”, así como, quienes se dedican solo a su producción y venta a pequeñas empresas, localizados desde el norte del país hasta la Región del Maule.

La aceituna tiene un compuesto amargo, la oleuropeína, aunque no es perjudicial para la salud, debe ser eliminado por su fuerte sabor. Para ello, los tratamientos más usados son a base de una solución diluida de hidróxido sódico o potásico (también llamada lejía), salmuera y/o sucesivos lavados con agua (Tapia, 2014).

En el caso de las aceitunas de mesa, para su elaboración se utilizan importantes cantidades de agua en sus distintas etapas. Al hidrolizar la oleuropeína, se generan efluentes alcalinos altamente contaminantes, además de poseer una gran carga orgánica que incluye fenoles, ácidos grasos y gran contenido de sólidos en suspensión (Cifuentes, 2017) que pueden generar problemas de contaminación de aguas y de suelos.

Se puede considerar como valor medio un volumen de agua residual de 1,5 litros por kilogramo de aceituna producida (Carbonell, 2017) y se caracterizan por ser muy difíciles de tratar. Es común que estos efluentes sean vertidos a cauces o lugares no autorizados sin tratamiento previo por no tener donde descargarlos. Donde además de causar posibles impactos ambientales, existe riesgo de multas severas por las autoridades de control como la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Sin embargo, estos efluentes tienen un alto contenido de materia orgánica debido a que provienen de un fruto rico en lípidos y carbohidratos como la aceituna, por lo que se les pueden realizar distintos tratamientos, acordes a las realidades agroecosistémicas de cada lugar, y como resultado obtener agua de una calidad apta para el riego. Esto genera la posibilidad de evitar la contaminación de cuerpos de agua, suelos y del ambiente en general, disminuyendo el riesgo en la salud humana, la flora y la fauna, además de conservar un recurso tan esencial como el agua en una provincia declarada como zona de escasez hídrica (Chumbita, 2017).

1.1. Proceso de elaboración de aceitunas de mesa

En la preparación de aceitunas de mesa existen distintos procesos de elaboración, todos tienen el objetivo de hacer que las aceitunas sean comestibles. Ellos están orientados a eliminar el amargor natural de las aceitunas crudas, amargor que es provocado por la presencia de compuestos fenólicos, principalmente oleuropeína (Cantera, 2014).

De acuerdo con el estado de madurez en que se cosechan las olivas, existen diferentes alternativas para procesarlas, entre ellas: verde estilo sevillano o español, negras oxidadas y negras naturales (Arancibia, 2006).

En el presente trabajo de título se va a especificar sobre la aceituna estilo verde sevillano o español, dado que es la variedad de aceituna que se produce en el sector de estudio, de las cuales algunas se usan fundamentalmente para consumo como aceituna de mesa y otras para la elaboración de aceite de oliva.

En la Figura 1 se muestra el proceso general de elaboración de la aceituna tipo verde estilo sevillano o español.



Figura 1: Proceso de elaboración aceituna tipo verde estilo sevillano o español. (Adaptado de: Tapia & Arancibia, 2001; Arancibia, 2006).

1.1.1. Cosecha

Las aceitunas tipo verde estilo sevillano o español se deben cosechar cuando presenten un color verde limón (amarillento intenso), y la pulpa posee una consistencia media que al realizar un corte perpendicular el hueso se desprende con facilidad (Guevara, 2015).

La cosecha de la aceituna de mesa se puede realizar de dos maneras: de forma tradicional, es decir, a mano, para no dañar el fruto, como también de forma mecanizada, donde el uso del método de vibración es el más habitual. (Tapia *et al.*, 2003). Luego son depositadas en canastos de fondo acolchado para prevenir daños.

Una vez recolectadas del árbol, las aceitunas deben ser almacenadas en la sombra, a la espera de ser transportadas a una bodega (Tapia & Arancibia, 2001).

Los residuos de cosechas, tales como rastrojos de maíz, paja de trigo y otros cereales son interesantes de considerar como aportadores de materia orgánica al suelo. Al incorporar pajas de cereales cuando

no se presenta una buena relación carbono: nitrógeno (C/N) es recomendable aplicar 10 unidades de nitrógeno por tonelada de paja (Quiroz *et al.*, 2017).

1.1.2. Calibración

Una vez en bodega, la aceituna debe ser calibrada, proceso que se realiza para agrupar las olivas por tamaño.

Las aceitunas se pueden clasificar en distintos tamaños, mediante el uso de máquinas que las agrupan según su dimensión, o de manera manual, tal como lo realizan pequeños y pequeñas productoras.

El calibre para la variedad sevillana es de: tamaño grande 40 unidades/kg, tamaño mediano 120 unidades/kg y tamaños menores 320 unidades/kg (Guevara, 2015).

En caso de que la aceituna se encuentre sucia, con barro o polvo, se recomienda lavarla con agua potable, luego de su calibración.

1.1.3. Sodificación

Las aceitunas recién cosechadas no se encuentran aptas para su consumo inmediato, ya que éstas son de sabor amargo y textura poco agradable para degustar, en consecuencia, es necesario llevar a cabo un proceso denominado sodificación o cocido.

En esta etapa, se debe llenar con agua potable los barriles a utilizar (entre $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ de capacidad), luego agregar las aceitunas y añadir una solución alcalina de hidróxido de sodio (NaOH) que cubra toda la superficie.

El hidróxido de sodio también conocido como soda cáustica, se debe preparar antes del llenado de los barriles, e incluso se recomienda con un día de anticipación, ya que se debe utilizar cuando esté fría. La concentración depende del tipo de aceituna, de la temperatura y del grado de madurez (Borgo, 2013), puede variar entre 1,3 y 2,6 % (p/v), aunque en algunos casos de zonas frías puede alcanzar hasta el 3,5% (p/v) (Cifuentes, 2017). En el caso del tipo verde estilo sevillano o español, las concentraciones oscilan entre 3 y 4% (p/v) de hidróxido de sodio (Tapia & Arancibia, 2001).

Un 3% de hidróxido de sodio significa que se debe agregar 3g de hidróxido de sodio en 100mL de agua, por lo tanto, en 100L se adiciona 3kg de hidróxido de sodio.

El tiempo de contacto es variable y también depende de múltiples factores tales como la variedad, el tamaño, el estado de madurez, la temperatura, etc. En el caso del tipo verde estilo sevillano, deben permanecer en el barril por 5 a 8 horas, dependiendo de la penetración del hidróxido de sodio (Tapia & Arancibia, 2001).

Se debe por ello inspeccionar periódicamente la penetración de la solución alcalina a través de la pulpa; valiéndose de fenolftaleína al 1% o haciendo un corte longitudinal transversal al hueso y se deja oxidar, la parte oxidada indica el nivel de penetración de soda, si se utiliza fenolftaleína en la zona donde penetró toma el color rojo característico de la reacción de los hidróxidos alcalinos (Guevara, 2015).

Es necesario tener en consideración que, si la solución de soda cáustica no se prepara de manera adecuada, pueden surgir problemas en el proceso de elaboración. Si la concentración de soda es menor a la recomendada, las aceitunas se colocarán amargas y luego la fermentación será incompleta. Por otro lado, si la concentración de soda es mayor, puede llegar a desintegrar el fruto y también presentar inconvenientes en la fermentación.

1.1.4. Lavado

Una vez terminada la sodificación, se debe eliminar el exceso de hidróxido de sodio que permanece en las aceitunas de mesa.

Para ello, es necesario retirar el líquido desde los barriles, idealmente la aceituna debe permanecer en los mismos recipientes, para evitar machucones, por trasvasijos a otros tanques. Luego, se debe llenar con agua potable, permaneciendo aproximadamente 12 horas en etapa de lavado (Tapia & Arancibia, 2001).

El número de lavadas pueden ser dos o tres, no se recomienda más porque se eliminan los carbohidratos que afectarían la fermentación (Guevara, 2015), no obstante, actualmente hay una tendencia en realizar sólo uno durante unas 12-15 h (López, 2007).

1.1.5. Fermentación

Las aceitunas ya lavadas deben ser mantenidas en un ambiente salino para iniciar la fermentación.

La fermentación es un proceso biológico en que intervienen levaduras y bacterias aportadas en forma natural por el medio y tiene una duración aproximada de 2 a 3 meses (Arancibia, 2006). En

consecuencia, es posible obtener un gusto agradable al paladar y permitir la conservación del producto final.

Al igual que en la etapa de sodificación, la salmuera debe prepararse con anticipación, cuando esté lista, las aceitunas de mesa son colocadas en un tanque que contiene una disolución de salmuera con una concentración salina y acidez específicos según la fase de fermentación, tal como se señala en la Tabla 1.

Tabla 1: Fases de la fermentación, variables de pH, concentración salina y duración de la fase fermentativa (Arancibia, 2006).

Fases de Fermentación	pH	Concentración salina (%)	Duración
I	10 a 6	6	5-7 días
II	6 a 4,5	10	15 a 20 días
III	4,5 a 3,8	10	2 a 3 meses
IV	>4,0	<10	No deseada

La condición de acidez y salinidad debe ser mantenida en cada una de las etapas para evitar el desarrollo de bacterias indeseables que alteran el producto y su conservación (Arancibia, 2006). La duración del proceso depende de la carga microbiana, temperatura y contenido de azúcares reductores.

En esta etapa se supervisa diariamente la fermentación, mediante el control de pH, densidad y temperatura. Se debe tener presente que la temperatura del ambiente donde se realiza la fermentación, debe mantenerse dentro de lo posible entre los 25 y 28°C, a fin de favorecer el desarrollo de las bacterias lácticas y dificultar la acción de microorganismos indeseables (Guevara, 2015).

1.1.6. Preparación para la venta

Por último, la preparación para la venta de la aceituna consiste en cambiar el líquido de gobierno por una salmuera entre un 4-6 % en concentración salina, y pH 4,0 (Tapia & Arancibia, 2001).

La aceituna para ser envasada debe reunir las siguientes condiciones: no contener azúcares fermentables; tener un color verde amarillento (verde oliva); la acidez deberá ser superior a 0.75% (ácido láctico); el gusto deberá ser agradable; la textura deberá ser firme (Guevara, 2015).

Si hay elevada temperatura en la bodega de almacenamiento, el proceso de descomposición será acelerado, por lo que se recomienda refrigerar el fruto para su conservación.

La aceituna de mesa puede ser envasada en frascos de vidrio o en envases plásticos. Estos envases deben tener una salmuera al 4-6% dependiendo del gusto del consumidor y los preservantes correspondientes para su conservación (benzoato de sodio, sorbato de potasio, ácido cítrico y ácido ascórbico) (Arancibia, 2006).

1.2. Riego del olivo

El principal factor para la producción de aceitunas de mesa es el agua destinada para el riego del olivo, en efecto, utilizando la cantidad y calidad adecuada se puede llevar a cabo un buen cultivo.

La cantidad de agua que se necesita para el riego del olivo depende de diversos factores, tales como el tamaño de la planta, densidad de la plantación, clima, propiedades del suelo y método de riego utilizado. Además, cabe señalar que un buen estado hídrico de las plantas produce mayor crecimiento vegetativo, producción, número de frutos por árbol, tamaño de frutos, porcentaje de aceite y un aumento en la relación pulpa/hueso (Quiroz *et al.*, 2017).

El olivo vive en todo tipo de suelos y puede sobrevivir a condiciones extremas, ya que aguanta muy bien el calor, pero es sensible al frío, sin embargo, su crecimiento vegetativo y volumen de producción será muy restringido. El requerimiento hídrico del olivo con alta producción es semejante a muchas otras especies frutales, en Chile se han informado tasas de riego de 6.500 a 8.500 m³/ha/año en la variedad sevillana, en huertos de 8 años plantados en la zona de San Felipe, Región de Valparaíso (Martínez, 2009).

1.2.1. Requisitos de calidad de agua para riego (NCh N°1333, de 1987)

La NCh N°1333 fija criterios de calidad de agua para distintos usos, contribuyendo a proteger y preservar la calidad de las aguas de contaminaciones con residuos de cualquier tipo. Los requisitos del agua para riego se especifican a continuación:

- **Requisitos químicos**

- a) El agua de riego debe tener un pH comprendido entre 5,5 y 9,0.

b) En la Tabla 2, se señalan los valores máximos permisibles de algunos elementos químicos en agua de riego.

Tabla 2: Concentraciones máximas de elementos químicos en agua de riego (NCh N°1333, 1987).

Elemento	Unidad	Límite máximo
Aluminio (Al)	mg/L	5,00
Arsénico (As)	mg/L	0,10
Bario (Ba)	mg/L	4,00
Berilio (Be)	mg/L	0,10
Boro (B)	mg/L	0,75
Cadmio (Cd)	mg/L	0,010
Cianuro (CN-)	mg/L	0,20
Cloruro (Cl-)	mg/L	200,00
Cobalto (Co)	mg/L	0,050
Cobre (Cu)	mg/L	0,20
Cromo (Cr)	mg/L	0,10
Fluoruro (F-)	mg/L	1,00
Hierro (Fe)	mg/L	5,00
Litio (Li)	mg/L	2,50
Litios cítricos (Li)	mg/L	0,075
Manganeso (Mn)	mg/L	0,20
Mercurio (Hg)	mg/L	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/L	0,010
Níquel (Ni)	mg/L	0,20
Plata (Ag)	mg/L	0,20
Plomo (Pb)	mg/L	5,00
Selenio (Se)	mg/L	0,020
Sodio porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (So4 =)	mg/L	250,00
Vanadio (V)	mg/L	0,10
Zinc (Zn)	mg/L	2,00

- c) En la Tabla 3, se da una clasificación de aguas para riego de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a las características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales.

Tabla 3: Clasificación de aguas para riego según su salinidad (NCh N°1333, 1987).

Clasificación	Conductividad específica, c , $\mu\text{ mhos/cm}$ a 25°C	Sólidos disueltos totales, s , mg/L a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejos cuidadosos	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejos cuidadosos	$3000 \leq c \leq 7500$	$2000 \leq s \leq 5000$

- **Requisitos bacteriológicos**

El contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo, y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1.000 coliformes fecales/100 mL.

1.2.2. Métodos de riego

En general, los métodos de riego se clasifican en dos grandes grupos: sistemas de riego gravitacionales y sistemas de riego presurizados (Tapia *et al.*, 2017). Los métodos gravitacionales como surcos, tazas, bordes, se caracterizan por ser menos eficientes (relación entre el agua efectivamente utilizada por el cultivo y el agua aplicada al potrero) respecto a los sistemas de riego presurizados. En la Tabla 4 se señalan los distintos tipos y el porcentaje de eficiencia, en donde sólo se representa la eficiencia con

que el agua es conducida desde la fuente hasta el árbol. Las ventajas entre uno u otro método son evidentes y se deben considerar en particular en zonas donde el agua de riego es escasa. Además, con el aumento del cambio climático, es necesario optar por metodologías que tengan menor pérdida de agua.

Tabla 4: Valores de eficiencia de aplicación promedio para diferentes métodos de riego (Tapia *et al.*, 2017).

Método de riego	Eficiencia de aplicación del agua de riego (%)	
	Conducción tradicional del método	Más conducción entubada
Tendido	30	35
Surcos	45	50
Surcos en contorno	50	60
Bordes en contorno	50	65
Bordes rectos	60	65
Pretilles	60	65
Tazas	65	70
Aspersión	75	-
Microjets	85	-
Microaspersión	85	-
Goteo	90	-

1.3. Contaminación generada por la industria de la aceituna de mesa

Durante el proceso de producción de la aceituna de mesa, se producen una serie de residuos sólidos, aguas residuales y emisiones.

Las emisiones atmosféricas generadas por este tipo de industria a gran o baja escala no son significativas y únicamente se producen por el funcionamiento de la maquinaria o la quema del hueso de la aceituna en algunos casos (Vivas *et al.*, 2007).

En cuanto a los residuos generados son principalmente de las etapas de limpieza, lavado, corte, deshuesado, pelado y descorazonado. Algunos de ellos son, tierra, hoja de olivo procedentes del lavado y en algunos casos los huesos (residuo sólido de la aceituna, compuesto mayormente por carbohidratos).

Por su parte las aguas residuales, son la principal fuente de contaminación, como en la mayoría de las industrias agroalimentarias. Suelen ser un gran problema por los parámetros que las caracterizan: grandes volúmenes, alto contenido de materia orgánica y poco biodegradable, elevado porcentaje de sólidos en suspensión, grasas, pH alcalino o ácido, elevada conductividad por su alto contenido salino, aguas fuertemente coloreadas por los polifenoles que forman parte de la composición de los frutos (Estrada, 2011), como así también, en consecuencia, de los contaminantes nombrados, presentan altos valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Estas aguas o efluentes, se originan de los distintos procesos de elaboración y de las aguas pluviales, donde las más comunes son: lejías de sodificación, aguas de lavado tras sodificación, salmueras de fermentación de aceitunas verdes, aguas pluviales de los patios de fermentadores y de limpieza, aguas de otros procesos, como: aguas de lavado de fruto, del semielaborado (deshueso, relleno o en rodaja), derrame de salmuera de envasado, salmueras de conservación, de limpiezas, etc.

En la etapa de sodificación se necesitan utilizar considerables volúmenes de agua potable, en consecuencia, se generan efluentes de gran magnitud con hidróxido de sodio, que no pueden ser reutilizados para riego, ni dispuestos en el medio ambiente, ya que pueden causar graves deterioros, pues el hidróxido de sodio en disolución es corrosivo, puede generar alteraciones en la calidad del suelo (por que produce alcalinización de terrenos y efluentes), puede presentar peligro para la flora y fauna acuática en altas concentraciones, también resulta ser un peligro para la salud de las personas y tiene la capacidad de ser un peligro físico-químico, un ejemplo de ello es que genera reacciones muy exotérmicas en contacto con ácidos fuertes, así también, estas aguas generan molestias por malos olores.

Considerando sus cifras globales, dado que estos procesos productivos se caracterizan por ser estacionales, estos vertidos no son excesivamente voluminosos comparados con otras industrias agroalimentarias. Sin embargo, la producción de los mismos en épocas de estiaje, en un intervalo de tiempo reducido (unos dos meses) en zonas muy limitadas y de escasos recursos hídricos, los hace convertirse en un alto potencial de riesgo medioambiental.

1.4. Características de las aguas generadas

El proceso de producción de aceituna de mesa consume grandes cantidades de agua para todas las etapas necesarias en su procesamiento. La mayor parte de esta agua no se incorpora al producto final, por lo que prácticamente todo el volumen acaba como agua residual.

Por definición las aguas residuales son “aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargas al sistema de alcantarillado” (OEFA, 2019) y se clasifican según su procedencia doméstica, agrícola e industriales.

Las aguas generadas en los métodos de procesamiento, en general, para la aceituna estilo verde española son de 1,5 a 3,5 L/kg de aceituna producida (Ozdemir & Keskinel, 2018). Según datos de la Consejería de Medio Ambiente de España, país considerado como el mayor productor en la campaña 2018/2019 por el Consejo Oleícola Internacional (COI) se puede considerar como valor medio un volumen de agua residual de 1,5 L/kg de aceituna producida (Carbonell, 2017).

Dentro del proceso de elaboración, se distinguen ciertas etapas donde se genera agua residual, estas son: lavado del fruto, sodificación, lavados, salmuera de fermentación, deshuesado y relleno y envasado en salmuera. Las tres principales aguas de desechos se producen en cocido, lavado y salmuera de fermentación y sus principales características se describen a continuación, aunque, para efectos de este trabajo será centrado específicamente en aguas de sodificación y aguas de lavado.

a) Aguas de Sodificación: Las aguas residuales generadas durante este proceso se caracterizan por ser de tipo alcalino y tener una elevada cantidad de hidróxido de sodio residual (0,7 – 1,0%), además de azúcares y compuestos fenólicos (principalmente oleuropeína y sus derivados). La cantidad de agua residual producida durante esta etapa es del orden de 0,5 L/kg de aceituna aproximadamente (Carbonell, 2017).

b) Aguas de Lavado: Estas aguas residuales, al igual que en la etapa anterior, se caracterizan por ser alcalinas, con una elevada concentración de hidróxido de sodio, además de azúcares y polifenoles. El volumen de agua residual generada en este proceso está en torno a 0,5 y 2 L/kg de aceituna aproximadamente (Carbonell, 2017).

c) Aguas de Fermentación: las aguas residuales resultantes de este proceso son salmueras de pH ácido, con elevada concentración de materia orgánica y compuestos fenólicos (principalmente,

hidroxitirosol y tirosol). Su elevado contenido en sales y la presencia de compuestos fenólicos las hacen difíciles de tratar en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). La cantidad de agua residual generada es del orden de 0,5 L/kg de aceituna (Carbonell, 2017).

Estas aguas residuales, son muy similares en sus características físico-químicas, pero se ha visto mayor similitud entre las aguas de sodificación y lavado y las diferencias que presentan con respecto a las de fermentación. Estas diferencias vienen reflejadas en parámetros como el pH y la conductividad, así como en su composición (diferencias en la cantidad y contenido de azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos), ya que las aguas de fermentación se caracterizan por no tener azúcares (Carbonell, 2017)

Pero coinciden en el tipo de contaminación, que viene dado por los sólidos totales presentes en las aguas residuales que se pueden clasificar en sólidos filtrables y no filtrables. Los no filtrables se denominan sólidos en suspensión (SS), con un tamaño nominal de poro de 1,2 μm . Los filtrables corresponden a la fracción de sólidos coloidales (0,001 y 1 μm) y a los sólidos disueltos.

En cuanto a la fracción orgánica de este tipo de aguas residuales, los componentes mayoritarios son: compuestos fenólicos, particularmente tirosol e hidroxitirosol, ácidos orgánicos (láctico, acético y fórmico, principalmente), taninos, pectinas, carotenoides y residuos de aceite. Además, se pueden encontrar cantidades de azúcares y aminoácidos. La DQO en este tipo de aguas puede variar entre 10.000 y 35.000 mg/L, en función del tipo de aceituna, estado de maduración, entre otros (Ferrer, 2017). Lo anterior, dependiendo del estado de maduración y tipo de aceituna, dependerá la cantidad y presencia de otros fenoles, quienes son los principales componentes causantes de las altas concentraciones de DQO.

Así también, la carga contaminante de cada vertido puede depender de factores como, la variedad de la aceituna, la concentración de sales empleadas, la riqueza de la aceituna, entre otros. De manera que cada vertido puede ser distinto en la composición de sólidos disueltos, carga orgánica, y demás elementos contaminantes (Cifuentes, 2017). En la Tabla 5 se presentan las características de las aguas generadas en el proceso de elaboración de aceitunas de mesa.

Tabla 5: Parámetros característicos de las aguas residuales generadas en el proceso de elaboración de aceituna de mesa verde “estilo español”. (Adaptado de: Ozdemir & Keskinel, 2018; Carbonell, 2017; Borgo, 2013; Cifuentes, 2017; Miranda, 2017; Fernández, *et al.*, 2001; López, 2007; Montes, 2011).

Características	Aguas de Sodificación	Agua de lavado en general	1° Lavado	2° lavado
pH	9,5-12,9	7,5-11,5	11,2	9,8
NaOH (mg/L)	6.900-11.000	900-2000	1.500	-
DQO (mg/L)	9.300-35.000 Normalmente: 23.000	12.000-35.000 Normalmente: 24.600	12.000-35.000	28.400
DBO ₅ (mg/L)	3.110-18.000 Normalmente: 15.000	12.300	12.300	15.600
Solidos volátiles (mg/L)	30.200	35.100	35.100	39.700
Solidos Fijos (mg/L)	18.200	9.900-11.400	11.400	9.900
Solidos disueltos totales (mg/L)	30.600-48.200	46.500	46.500	49.600
Solidos suspendidos totales (mg/L)	100-3.400	3-10	-	-
Azúcares reductores (mg/L)	6.000-9.000	6.000-9.000	8.000	7.100
Polifenoles (mg/L)	1.300-4.100	2.500-4.000	2.500-4.000	-
Conductividad (mS/cm)	11.100-13.000	10.000	-	-

En primer lugar, se distinguen por su pH elevado, aunque decreciente en el orden de los lavados. Las denominadas lejías (aguas de sodificación) contienen una porción bastante alta de hidróxido de sodio original, en la que va disminuyendo en las aguas de lavado, para la primera es aproximadamente la décima parte y para la segunda es depreciable. El porcentaje de azúcares reductores que se pierden en estos líquidos es similar para todos ellos, llegando a ser, en conjunto, alrededor del 2,4 por 100, que representa una cantidad muy importante del total de los frutos (Miranda, 2017).

Los polifenoles constituyen un componente presente en la aceituna, que pasan al agua por difusión (Lugones, 2018), en cantidades considerables entre 2.500 y 4.000 mg/L. La elevada DQO de estas aguas

es debida a la presencia de estos fenoles y a otras sustancias como azúcares, compuestos nitrogenados (aminoácidos), ácidos orgánicos, taninos, pectinas, carotenoides y residuos de aceite (Ferrer, 2017).

Se puede observar que las aguas residuales provenientes del proceso de cocido poseen una mayor cantidad de sólidos en suspensión totales (SST) que las aguas de lavado. Esto es debido a que en estos procesos el tiempo de contacto entre el agua y las aceitunas es mayor (Carbonell, 2017).

También se puede observar que las aguas residuales de sodificación y de lavado poseen una elevada conductividad, en parte por la adición de hidróxido de sodio durante la etapa de cocido.

Finalmente, los efluentes generados a partir de la elaboración de las aceitunas, como se mencionaba anteriormente se caracterizan por tener altas concentraciones orgánicas, elevados pH y concentraciones de sales, lo que dificulta el empleo de métodos clásicos de tratamiento de aguas residuales como los biológicos y físico-químicos convencionales y exige que se utilicen métodos delicados y costosos, siendo de difícil adopción para industrias semiartesanales o artesanales. De igual manera, al tener un uso tan considerable de agua, es necesario que se implementen técnicas que disminuyan los volúmenes generados.

1.5. Alternativas de tratamientos e iniciativas

Como ya se mencionó anteriormente, el proceso de elaboración de la aceituna de mesa consume grandes cantidades de agua para todas las etapas necesarias de su procesado. Lo que, a su vez, que tenga distintas etapas, genera que se originen aguas residuales de distinta composición.

Estas aguas resultantes de la producción de las aceitunas de mesa son probablemente las aguas residuales más difíciles de tratar de cualquiera en la industria alimentaria. Ya que estos residuos contienen alta cantidad de materia orgánica con valores de 50.000 a 80.000 mg/L, DBO de 4.000 a 12.000 mg/L, sólidos disueltos totales de 35.000 a 50.000 mg/L, y DQO que puede llegar hasta 50.000 mg/L e incluso más, altas concentraciones de sal e hidróxido de sodio.

Esta materia orgánica está compuesta por productos fácilmente degradables, como azúcares, ácidos grasos, aminoácidos y proteínas, como también, por sustancias difíciles de descomponer, como polifenoles y compuestos inorgánicos como nitrógeno, fósforo, sodio, potasio, hierro, etc., que ocasionan enormes dificultades para su degradación bacteriana (Cisnero *et al.*, 2018). Cabe destacar también, que una característica particularmente importante de las aguas de sodificación y lavado es su elevado pH.

Tradicionalmente, la gestión de los efluentes líquidos generados en las industrias de procesado y envasado de las aceitunas de mesa ha sido la siguiente:

- a) **Descarga directa al mar o al cauce de ríos:** Esta práctica supone un grave deterioro del ecosistema donde se descarga, ya que la presencia de compuestos fenólicos puede tener un efecto devastador sobre los microorganismos presentes en los sistemas acuáticos, debido a los efectos fitotóxicos y antibacterianos que tienen los fenoles (Ferrer, 2017).
- b) **Descarga en balsas de evaporación sin tratamiento previo:** Uno de los sistemas más generalizados para el tratamiento de estas aguas es su acumulación-evaporación en balsas, que trata de un tratamiento térmico. Es el único método de eliminación que no necesita el suministro de grandes cantidades de energía, ya que actúan por medio de la evaporación de las aguas, dependiente de la climatología. El proceso de evaporación se da durante los meses de primavera y verano sobre todo debido a las altas temperaturas hasta que las balsas queden vacías (la evaporación completa tarda unos 8-9 meses). La evaporación del agua deja una capa de residuos sólidos en el fondo de las balsas que debe ser retirada. Aunque las balsas utilizadas deben estar impermeabilizadas, existe un elevado riesgo de filtraciones que puede acarrear la contaminación de suelos y aguas subterráneas. Además, es habitual que la aportación de efluentes sea superior a la capacidad de evaporación, por lo que finalmente estos sistemas se convierten en balsas de acumulación, que generan malos olores (Agabo, 2018).
- c) **Dilución con aguas urbanas para tratar en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR):** Esta práctica puede repercutir negativamente sobre el tratamiento biológico de fangos activos llevado a cabo en este tipo de depuradoras, debido a la elevada salinidad y concentración de compuestos fenólicos. En las EDAR con cultivos bacterianos convencionales, concentraciones de sal por encima de un 1-2% pueden conducir a la pérdida de actividad de las células y una disminución de la capacidad de sedimentación. Por otro lado, los compuestos fenólicos pueden causar la inhibición de la actividad microbiana debido a su acción bactericida ya comentada. Es por ello que este tipo de gestión tiene un precio muy elevado para la empresa productora, que además debe costear el transporte de los efluentes (Ferrer, 2017).

Por algunas de sus características mencionadas, los efluentes de este tipo de industrias deben ser abordados paso a paso. La finalidad del tratamiento de estas aguas es la disminución de su carga contaminante para minimizar el impacto ambiental que se produce cuando estas aguas son vertidas a

los cultivos o directamente al suelo. Para lo cual se busca un ajuste de pH y disminución de la salinidad, ya que los nutrientes pueden ser beneficiosos en algunos cultivos. Además, algunas empresas buscan constantemente la innovación y desarrollo de sus sistemas de tratamiento, que sean eficientes principalmente desde el punto de vista medioambiental y legislativo respecto al vertido de aguas, como también en la eficiencia del consumo de agua, reutilización de estas en sus procesos internos y reducción de costes de tratamientos y consumos de agua.

Existen variadas investigaciones como las nombradas en Cifuentes (2017) enfocadas a desarrollar tecnologías eficientes para el tratamiento de estas aguas residuales. Principalmente estas tecnologías se basan en la degradación biológica, mediante reactores anaerobios y aerobios, o en un proceso avanzado de oxidación, mediante la utilización del ozono, el reactivo de fenton o la oxidación electroquímica, entre otros. Así como en varias combinaciones de estos procesos. Cabe señalar que la eficiencia, la complejidad y los costos involucrados en estos procesos de oxidación pueden variar significativamente, siendo esta la principal problemática de la utilización de estos procesos.

Así también, existen diversos tipos de efluentes por lo que es muy importante caracterizarlos correctamente a fin de utilizar la técnica de tratamiento más apropiada (Chumbita, 2017). El proceso de tratamiento realizado dependerá de la naturaleza del elemento contaminante, de su concentración y del caudal de agua.

Concretamente para los efluentes generados en la industria de la aceituna y aguas residuales en general se presentan distintas tecnologías de tratamientos en la Figura 2, que serán más detalladas a continuación.

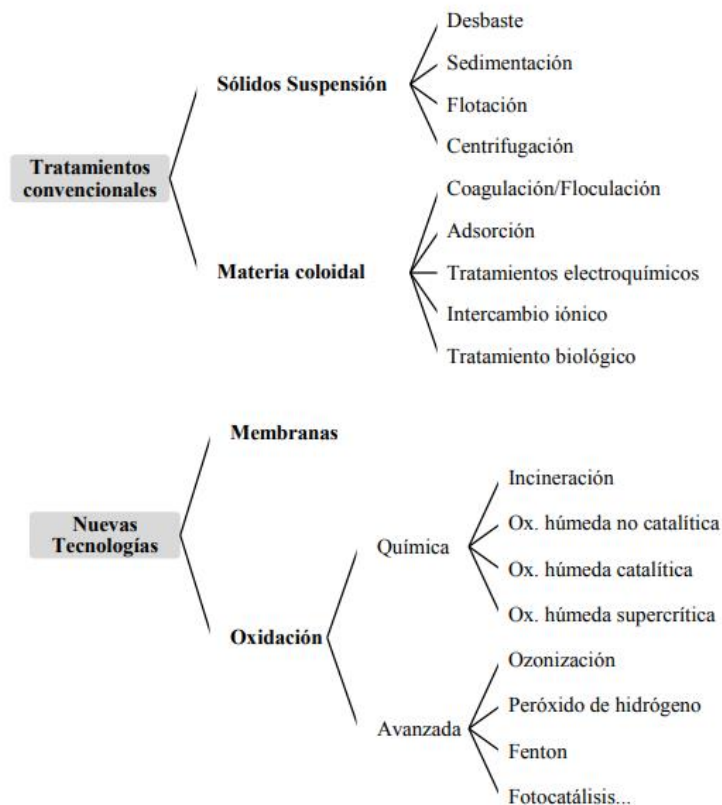


Figura 2: Tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales (Ferrer, 2017).

La primera actuación para realizar sobre cualquier agua residual es la eliminación de sólidos gruesos, en el caso de estas aguas residuales podemos encontrar porciones de aceituna y de huesos, en algunos casos también se pueden encontrar residuos del proceso de relleno como anchoas, pimientos, entre otros. Estos sólidos gruesos se pueden eliminar mediante cribado o filtros.

1.5.1. Pretratamientos físico-químicos

Los pretratamientos en estas aguas tienen la finalidad de disminuir la concentración de sólidos suspendidos y de materia orgánica, incluidos los compuestos fenólicos, como también reducir la contaminación inicial del agua residual, para facilitar el tratamiento posterior, como por ejemplo evitar el ensuciamiento de membranas. Para esto, pueden ser utilizadas operaciones físico-químicas como: adsorción, modificación del pH con posterior sedimentación y adición de coagulantes y floculantes, con y sin modificación del pH, con o sin posterior sedimentación, tratamientos de oxidación, métodos electroquímicos, entre otros. Las operaciones seleccionadas en este trabajo serán descritas mayormente en los próximos capítulos.

1.5.2. Tratamientos biológicos

Las aguas residuales generadas son fuertemente coloreadas por los polifenoles que forman parte de la composición de los frutos y se ve reflejado en altos niveles de DBO y DQO, producto de un gran crecimiento microbiano no controlado. Para esto es que es muy recomendados el tratamiento biológico, donde se remueven los compuestos orgánicos biodegradables y sólidos sedimentables.

Los tratamientos biológicos se dividen en:

Tratamiento biológico anaerobio: El proceso se lleva a cabo en grandes tanques cerrados llamados digestores de lodos o biorreactores, y en ausencia de oxígeno. En él, actúan conjuntamente diferentes tipos de procariotas, llevando a cabo una serie de reacciones digestivas y fermentativas. Este sistema se utiliza generalmente en aguas con grandes cantidades de materia orgánica (DBO y DQO muy alta), como las de la industria alimenticia y láctea.

Un ejemplo de esto, es la industria alcoholera que, en la producción del brandy generan aguas con alto contenido de DQO, del orden de 30.000 mg/L y exponen que indudablemente la mejor tecnología es la digestión anaerobia, obteniéndose eliminaciones superiores al 90% de la DQO con altas producciones de biogás (Escuela Organización Industrial, 2008).

Tratamiento biológico aerobio: En este proceso, el oxígeno libre es esencial para los organismos aerobios como agente para la oxidación de la materia orgánica en CO₂. La oxidación biológica aerobia está constituida por reacciones de óxido-reducción, en las cuales el oxígeno molecular es el receptor final de electrones. Este es agregado al sustrato, y mediante la acción de los microorganismos, se produce la oxidación o mineralización del residuo. La reacción es muy eficiente, porque libera grandes cantidades de energía, necesaria para la síntesis del nuevo tejido celular.

Los microorganismos tienen la capacidad de respirar una gran variedad de moléculas orgánicas. En presencia de más de una fuente de alimentación, en general utilizan primero aquellas moléculas simples de donde pueden obtener mayor cantidad de energía con el menor gasto para conseguirla. En orden decreciente de empleo: azúcares, alcoholes, proteínas, aminoácidos, ácidos orgánicos, hidrocarburos, almidón, pectinas, celulosa, lignina y, por último, pesticidas (Lugones, 2018).

Particularmente en este tipo de aguas residuales de la industria de la aceituna de mesa, el tratamiento biológico es de difícil aplicación, debido principalmente a su elevada conductividad, que provoca la

defloculación del fango activo, y a la presencia de compuestos fenólicos, que inhiben la efectividad de los microorganismos (Pastor *et al.*, 2014).

1.5.3. Tratamientos con membranas

Otra opción es el uso de las tecnologías de membrana, el cual está creciendo en los últimos años en la purificación de efluentes de múltiples orígenes, entre ellos, los producidos por las industrias agroalimentarias. Se usan como tratamiento terciario en el proceso de depuración de las aguas con el fin de eliminar las especies disueltas no biodegradables, los contaminantes orgánicos, el fósforo, compuestos nitrogenados, sólidos coloidales y suspendidos y patógenos humanos (Agabo, 2018). Al existir membranas con diferentes tamaños de poro la tendencia es combinar las tecnologías de membrana en las últimas etapas del proceso de depuración, como ya se ha hecho por algunos autores como García *et al.* (2010) en la purificación de componentes fenólicos de aguas residuales de distintos orígenes mediante la secuencia microfiltración-ultrafiltración-ósmosis inversa.

Los procesos de separación por membrana son más rápidos, eficientes y económicos que las técnicas convencionales. Son altamente estudiados y utilizados para el tratamiento de las aguas residuales de la oliva ya que son una fuente potencial para la recuperación de polifenoles mediante técnicas y condiciones propicias para tener un buen beneficio económico (Cazares, 2016).

En función del tamaño de la partícula se usan diferentes membranas con diferente tamaño de poro para microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración u ósmosis. Los detalles y aplicaciones de cada una se detallan a continuación. La Figura 3 muestra una visión general de los diversos tipos de membranas y sustancias que son capaces de atravesar.

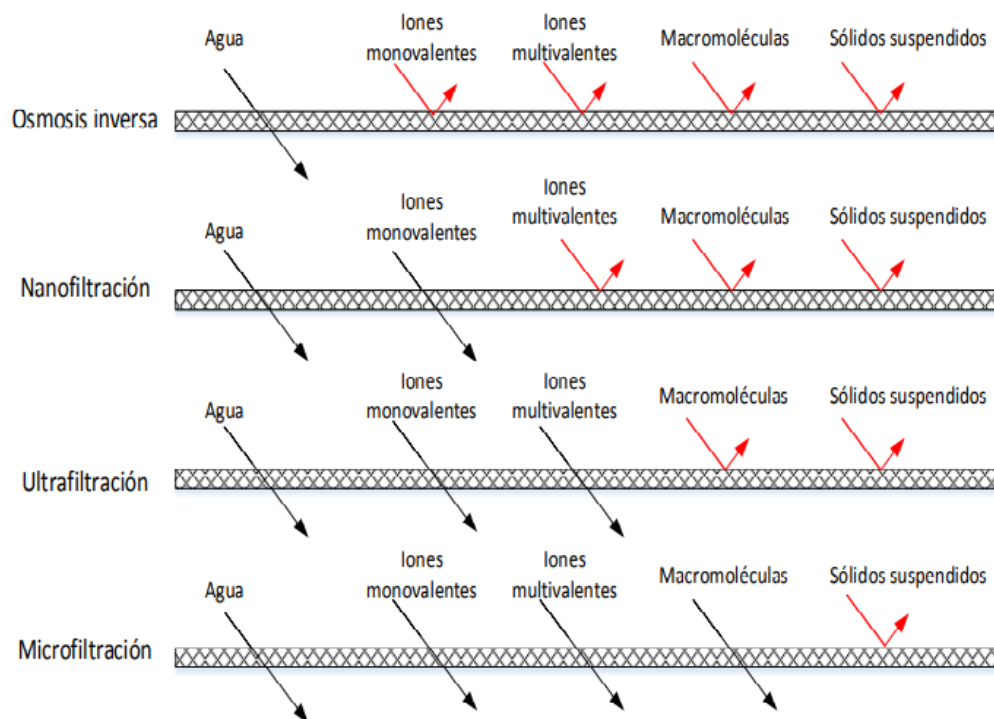


Figura 3: Características de los diferentes tipos de filtración (Teichert *et al.*, 2017).

- **Microfiltración**

De forma complementaria, es importante indicar que la microfiltración sirve usualmente como un pretratamiento para otros procesos de separación tales como la ultrafiltración, y un postratamiento para procesos de filtración gruesa. En este tipo de filtración el diámetro de poro de la membrana se sitúa entre 0,05-10 μm (Agabo, 2018). Se usa para filtrar partículas suspendidas, coloides de gran tamaño, bacterias, algas, protozoos, hongos y compuestos orgánicos.

La microfiltración es la base de la tecnología de los reactores de membrana (MBR), claves en el reciclaje del agua por dos razones:

- a) Deja el agua con baja carga orgánica en términos de DBO, forzando a las bacterias a degradar los pocos componentes orgánicos que quedan.
- b) La vida media del fango es bastante elevada por lo que da a las bacterias el tiempo suficiente para adaptarse a las sustancias resistentes a ser degradadas (Agabo, 2018). Por todo

ello, son muy utilizadas en el tratamiento de aguas residuales industriales para eliminar la biomasa tras el tratamiento biológico.

- **Ultrafiltración**

El tamaño de poro típico utilizado para la ultrafiltración oscila entre aproximadamente 0,01 y 0,1 μm . Se utiliza principalmente para la separación de coloides de dicho rango de tamaño de partícula, lo que facilita la concentración, purificación y fraccionamiento de macromoléculas tales como proteínas, pigmentos y otros materiales poliméricos. Por tanto, se usa cuando se quiere aislar moléculas de interés de las aguas residuales, ya que, generalmente, la ultrafiltración no separa los componentes de bajo peso molecular del agua tan eficientemente como lo hace la nanofiltración y la ósmosis inversa. Por ejemplo, en la remoción de compuestos fenólicos el uso de ultrafiltración retira un 45-70% y combinado con nanofiltración se alcanzan valores del 90-95% de eliminación de los compuestos fenólicos en aguas residuales procedentes de la producción de la aceituna de mesa (Agabo, 2018).

- **Nanofiltración**

La nanofiltración, al igual que la ultrafiltración es capaz de separar a nivel molecular, ya que posee un tamaño de poro entre 0,001 y 0,01 μm (Agabo, 2018). Esto permite la eliminación de sustancias de alto peso molecular, materiales coloidales y moléculas poliméricas orgánicas e inorgánicas, como metales pesados o compuestos fenólicos.

- **Ósmosis Inversa**

La ósmosis inversa es la tecnología de membrana más usada y comercializada. Es, con mucho, el mejor proceso de filtración por membrana disponible para la industria y tiene un diámetro de poro en el rango iónico de 0,0003 a 0,01 μm . En la ósmosis inversa se ejerce una presión externa mayor a la presión osmótica con el fin de que los solutos pasen de la solución menos concentrada a la más concentrada (Agabo, 2018). Por tanto, se puede usar como último paso de tratamiento donde se eliminan las sales y contaminantes pequeños de las aguas residuales, se utiliza a gran escala para la desalinización y purificación del agua, ya que filtra todo menos las moléculas de agua (Agabo, 2018).

Cabe destacar que la aplicación de las tecnologías de membranas anteriores se encuentra limitada por el ensuciamiento o “fouling” de las membranas. El “fouling” es un problema irreversible que deriva en

el deterioro de la vida media de la membrana. Este altera su selectividad y productividad, haciendo que el tratamiento de aguas residuales por métodos de membrana sea algunas veces económicamente inviable.

1.5.4. Medidas de control para disminuir el volumen de las aguas residuales

También son utilizadas medidas de control para disminuir el volumen de estas aguas residuales que generalmente son:

a) Reutilización de lejías o aguas de sodificación: La reutilización de las lejías es la medida de control cuya aplicación parece más atractiva, ya que estas aguas contienen una cantidad residual de hidróxido sódico bastante considerable. Para ello, basta con añadir a la misma la cantidad de hidróxido de sodio (NaOH) consumido. La única dificultad estriba en que para estimar la concentración que contiene la solución vertida como la recrecida, es necesario recurrir a una valoración, preferentemente potenciométrica. Cabe destacar que se ha comprobado que se puede realizar una reutilización de estas aguas hasta unas 10 veces y su carga contaminante sólo se multiplica por 3 sin alterar la calidad final del producto. Actualmente, las industrias reutilizan estas aguas entre 5 y 7 veces (Carbonell, 2017).

b) Reutilización y supresión de aguas de lavado: Las aguas de lavado contienen menos proporción de hidróxido sodio (NaOH), por lo que el aprovechamiento de las mismas para la preparación de lejías no presenta un atractivo económico importante. Sin embargo, esta posibilidad se ha ensayado en alguna ocasión. El resultado puede considerarse igual al de reuso de la lejía, necesitando añadirse, en este caso, una cantidad mayor de NaOH. Por último, el efecto sobre las características de los frutos quizás puede intuirse para reusos, una tendencia negativa en cuanto a sabor y color, compensada con otra positiva que se traduce en una ligera disminución de defectos y una buena disposición para el deshuesado.

c) Preparación con lejías de baja concentración: En un intento de evitar los inconvenientes de una acidez combinada excesivamente elevada, se ha experimentado la realización del «cocido» con lejías de baja concentración. Con ello, los frutos podrían colocarse directamente en salmuera, obteniéndose, tal vez, unos valores aceptables de dicha característica. La carga contaminante que arrastran estos vertidos es bastante similar a la del proceso normal. Sin embargo, el pH es ligeramente inferior debido a que la concentración de NaOH es también menor. El sabor, no

obstante, sigue siendo un poco más amargo que para el caso de “cocidos” tradicionales (Miranda, 2017).

Por último, existen iniciativas como la recuperación de polifenoles de acuerdo con el caso de estudio de Cifuentes (2017), ya que, poseen una característica que los hace ser muy valiosos, disponen de un alto carácter antioxidante, lo que resulta de gran interés para las industrias cosmética, farmacéutica y alimentaria. También, existen proyectos para la reutilización de estas aguas para riego por goteo en plantas tolerantes a la salinidad H2olivetree (2014-2020) o proyectos como IFAPA (2020) que estudian el uso de las aguas residuales procedentes de la aceituna de mesa como biofertilizante, entre otros

1.6. Marco legal aplicable a la descarga de RILES en la producción de aceitunas de mesa

En la producción de aceitunas de mesa se generan aguas residuales industriales (RILES) que deben cumplir con ciertas normas y procedimientos al momento de su descarga, con el fin de proteger y preservar el medio ambiente de acuerdo con los requerimientos establecidos.

A nivel nacional existen normativas en lo que se refiere a emisión de Residuos Industriales Líquidos (RILES) sobre los diferentes cuerpos receptores, que se detallan, en las Tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6: Aplicabilidad del decreto N°609/1998 a la descarga de RILES (DS N°609, 1998).

Tipo de norma	Decreto Supremo N°609/1998
Nombre	Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales a sistemas de alcantarillado
Ministerio	Ministerio de Obras Públicas
Nivel de aplicación	Nacional
Materia	La presente norma de emisión establece los límites máximos de contaminantes permitidos para residuos industriales líquidos, descargados por establecimientos industriales a los servicios públicos de recolección de aguas servida de tipo separado o unitario. En el caso de que la entidad productora de aceitunas de mesa pretenda descargar sus RILES a sistemas de alcantarillado debe cumplir con esta norma.
Fiscalizada	Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) quien actúa como vigilante de las actividades de descarga de cada fuente emisora y considera como principal vigilante y responsable a la industria quien deberá considerar todas las medidas necesarias para el cumplimiento de éstas.

Tabla 7: Aplicabilidad del decreto N°90/2000 a la descarga de RILES (DS N°90, 2000).

Tipo de norma	Decreto Supremo N°90/2000
Nombre	Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales
Ministerio	Secretaría General de la Presidencia de la República

Nivel de aplicación	Nacional
Materia	La presente norma de emisión establece la concentración máxima de contaminantes permitida para residuos líquidos descargados por las fuentes emisoras, a los cuerpos de agua marinos y continentales superficiales de la República de Chile. En el caso de que la entidad productora de aceitunas de mesa pretenda descargar sus RILES a aguas marinas y continentales superficiales debe cumplir con esta norma.
Fiscalizada	Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Tabla 8 : Aplicabilidad del decreto N°46/2002 a la descarga de RILES (DS N°46, 2002).

Tipo de norma	Decreto Supremo N°46/2002
Nombre	Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas
Ministerio	Secretaría General de la Presidencia de la República
Nivel de aplicación	Nacional
Materia	La presente norma de emisión establece las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por la fuente emisora, a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo. En el caso de que la entidad productora de aceitunas de mesa pretenda descargar sus RILES a aguas subterráneas debe cumplir con esta norma
Fiscalizada	Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Las normas mencionadas aplican a nivel nacional a fuentes emisoras o establecimientos industriales que generen Residuos Industriales Líquidos, estableciéndose como fuente emisora, a toda actividad económica en la cual los niveles de contaminación o carga media, presente en sus aguas residuales, sea superior al equivalente a las aguas servidas generadas por una población de 100 personas, en uno o más de los parámetros señalados en la normativa.

2. PROBLEMA

El sector de Jahuel, parte de la comuna de Santa María, en la provincia de San Felipe, lleva arrastrando una sequía significativa hace más de 10 años. En el año 2013 fue considerada por las autoridades como la localidad con mayor sequía de la región de Valparaíso. Para el año 2014 se promulgó por primera vez la comuna de Santa María como zona de escasez hídrica, bajo Decreto Supremo del Ministerio de Obras Públicas (MOP) N°459 y en el presente año se encuentra vigente dentro del Decreto Supremo N°18 del MOP que declara zona de escasez hídrica a toda la Provincia de San Felipe. Cabe señalar que este decreto tiene vigencia por un periodo de 6 meses, no prorrogables.

Esta provincia basa su economía en la agricultura y exportación de diversos productos de la zona. Actualmente, el cultivo de olivos, la producción de aceituna de mesa y aceite de olivo son la principal fuente económica de Jahuel.

La problemática que conlleva la escasez hídrica es la falta de agua para riego, ya que se requieren entre 6.500 a 8.500 m³/ha/año aproximadamente de agua para el riego de olivos (Martínez, 2009). Por otra parte, cabe mencionar que las aceitunas recién cosechadas no se encuentran aptas para su consumo inmediato, ya que son de sabor amargo y textura poco agradables para degustar. En consecuencia, es necesario llevar a cabo un proceso denominado “curado o cocido de aceituna”, en el cual se utiliza una considerable cantidad de agua potable, a ésta se le debe agregar un compuesto químico conocido popularmente como soda cáustica (NaOH) para neutralizar el sabor. El alto consumo de agua que se necesita para llevar a cabo este proceso podría alcanzar valores mayores a los 2 m³/ton de aceituna (Borgo, 2013).

Por consiguiente, se generan grandes volúmenes de efluentes con altas concentraciones de soda cáustica que no pueden ser reutilizados para riego, ni dispuestos en el medio ambiente, ya que pueden causar graves deterioros, tales como, amenazas a la vida acuática, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, alteraciones en la calidad del suelo, fitotoxicidad y molestias por malos olores (Rivera, 2016).

Finalmente, es por esto, que este trabajo, busca establecer la factibilidad de un sistema de tratamiento que permita la reutilización de estas aguas derivadas de la producción de aceitunas en el sector de Jahuel.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Establecer la factibilidad técnica y económica de un proceso tendiente a la reutilización de aguas residuales derivadas de la producción de aceituna en el sector de Jahuel, Provincia de San Felipe, Región de Valparaíso, Chile.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar mediante bibliografía los efluentes generados durante el procesamiento de la aceituna de mesa verde tipo sevillana.
- Diseñar un sistema de tratamiento que priorice la reutilización del efluente.
- Realizar un análisis de costo sobre la alternativa propuesta para el tratamiento de las aguas residuales.

4. CAPACIDAD Y UBICACIÓN DE LA PLANTA

De acuerdo con el problema que se presenta en el sector de Jahuel, se propone la instalación de una planta de tratamiento que permita la reutilización de las aguas generadas en la producción de aceitunas, para obtener un efluente con las características adecuadas para uso de riego de olivos.

En este Capítulo se presentarán la capacidad de la planta y la ubicación del sistema de tratamiento propuesta para el sector de Jahuel.

4.1. Capacidad de la planta

La capacidad del sistema de tratamiento está asociada a la cantidad de aguas generadas en los procesos de sodificación y de lavado, lo que, a su vez, se relaciona con la producción generada en kilogramos de aceitunas por los productores y productoras en el sector de Jahuel.

Debido a esto, dependiendo de la cantidad semanal de producción de aceitunas y el consumo de agua de las etapas de sodificación y lavado, es posible estimar el caudal de agua residual generada diariamente en el proceso mediante la siguiente ecuación.

$$Q_d = \frac{P_a \times V_{req}}{7} \quad (4.1)$$

Dónde:

El número 7 se refiere a los 7 días semanales

Q_d = Caudal diario generado en las etapas de sodificación y lavado $\left(\frac{L}{d}\right)$

P_a = Producción semanal de aceitunas de mesa $\left(\frac{kg}{sem}\right)$

V_{req} = Volumen de agua que se requiere para producir 1 kg de aceitunas $\left(\frac{L}{kg}\right)$

Existen antecedentes bibliográficos generales relacionados con el coeficiente de evacuación en cada una de las operaciones de este proceso, las cuales se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9: Coeficiente de evacuación de las aguas residuales por operación. (Adaptado de: Borgo, 2013; Cifuentes, 2017; Fernández *et al.*, 2001).

	Litros de agua utilizada por kg de aceituna		
	Sodificación	Aguas de Lavado	Total
Proceso tradicional de aceitunas verdes “Estilo Español”	0,5	0,5- 2,00	1,00-2,5

Asimismo, mediante información obtenida en terreno en el sector de Jahuel en el mes de enero, del presente año, se pudo recabar que, los productores utilizan entre 0,5 y 1L de agua por kg de aceituna en el proceso de sodificación y una razón de 1:1 de agua por kg de aceituna en el proceso de lavado, además de realizar en promedio entre 6 a 8 lavados por producción. Por otra parte, existe una producción media entre 900 y 1200kg de aceitunas semanalmente.

A lo que se estima que el sistema debiese ser capaz de tratar entre 900 a 1200 litros de agua residual diariamente, tomando en consideración una utilización de 7L de agua (1L en etapa de sodificación y 6L en la etapa de lavado), ya que la cantidad de agua que se requiere en el proceso es la misma que se genera como efluente, debido a que no existen pérdidas en él.

Por último, cabe destacar que la cantidad de agua recuperada a través del sistema de tratamiento disponible para ser utilizada en riego, va a depender de la eficiencia de remoción de los equipos de flotación y sedimentación, ya que, a mayor porcentaje de remoción, mayor es el volumen de lodos residuales generados, en los que se arrastra una cantidad considerable de agua, como también, va a depender del porcentaje de rechazo del equipo de osmosis inversa y la cantidad de ciclos de recirculación a realizar.

4.2. Ubicación de la planta

La propuesta para el sistema de tratamiento, corresponde a sistemas modulares, replicables y multiplicables, que permiten la reutilización de las aguas derivadas de la producción de aceitunas, estarán distribuidos en el sector de Jahuel, parte de la comuna de Santa María, en la provincia de San Felipe, quinta Región de Valparaíso, Chile.

Como se mencionó en el Capítulo 1, Jahuel basa su economía en la agricultura y exportación de diversos productos de la zona. Actualmente, el cultivo de olivos, la producción de aceituna de mesa y aceite de

olivo, son la principal fuente económica, debido a que el sector posee las condiciones ideales para la maduración de dicha fruta.

La comuna de Santa María es un territorio rural precordillerano de los Andes y su conformación geográfica condiciona su existencia. El 50,1 % de su superficie es apta para la agricultura, en especial la fruticultura.

El clima es templado, mediterráneo, con estacionalidades bien marcadas, verano seco con alta radiación solar y temperaturas muy altas, inviernos nubosos y fríos, con estaciones transicionales de otoño y primavera. Se considera que el valle pertenece al agroclima pumanque, que favorece los cultivos de secano (PLADECO, 2010).

Esta zona es la que presenta la mayor superficie comunal, tal como se muestra en la Figura 4 y 5, como también el mayor número de localidades que la componen, entre ellas están: El Zaino, Jahuelito, Santa Filomena y Lo Galdámez (PLADECO, 2016). Además, en su territorio entre los ríos y esteros destacan estero de Jahuel, estero San Francisco y río Aconcagua, importantes cuerpos de agua que abastecen el sector.

Entre sus principales problemas destacan la escasez de agua potable y de regadío, problemas sanitarios por colapso de sistemas particulares de alcantarillado, problema de acceso a la salud y controles médicos, por falta de horas, falta de locomoción y problemas de aislamiento por lluvias debido a crecidas de río (PLADECO, 2016).

Su población se caracteriza por componerse principalmente de adultos mayores y al ser una zona eminentemente rural y agrícola, la mayoría de las personas viven de la olivicultura familiar, lo cual genera que las ganancias se repartan entre el grupo familiar, lo que impide que haya un notable crecimiento económico de la zona.

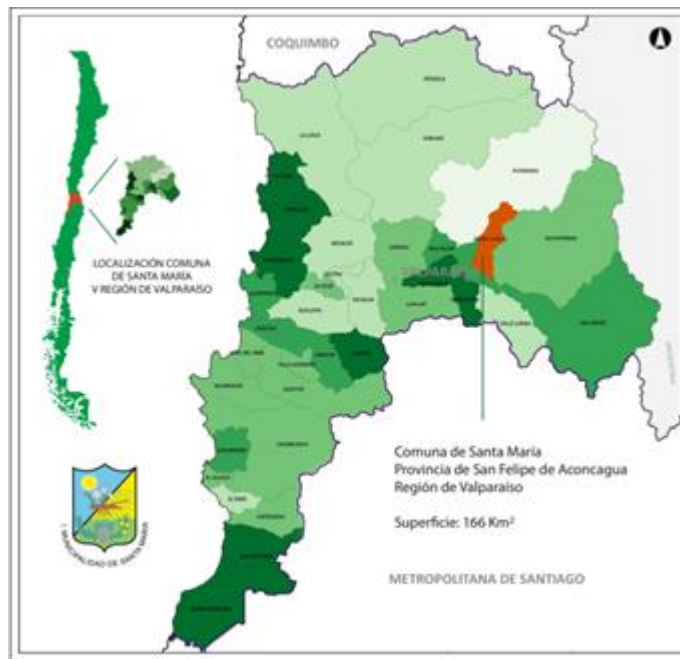


Figura 4: Localización Comuna de Santa María en la V Región de Valparaíso (PLADECO, 2016).



Figura 5: Ubicación espacial de Jahuel (Google Maps, 2020).

5. SÍNTESIS Y SELECCIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS

Con el objetivo de evitar potenciales impactos ambientales como los que genera el vertido de estas aguas residuales a cauces públicos, aguas superficiales o suelos (con riesgo de contaminar tanto el suelo como deteriorar la calidad de las aguas subterráneas) y lograr una eficiencia en el uso del recurso agua, logrando abaratar costos de compra de agua potable, así como obtener la reutilización del agua en uso de riego en una zona de escasez hídrica, es que el sistema de tratamiento busca disminuir la contaminación que traen consigo las aguas residuales generadas del proceso productivo de la aceituna de mesa, a la cual se añaden componentes como hidróxido de sodio (NaOH) que deterioran la calidad del recurso con respecto a otros posibles usos.

Como se mencionó anteriormente, existen condiciones técnicas legales como la Norma Chilena N°1333 de 1987 que reúne los estándares y requisitos nacionales de calidad ambiental que debe tener el agua destinada a regadío.

Por lo mismo, las aguas residuales que superen los límites aceptados de vertidos por las instituciones competentes deben ser tratadas previamente a su vertido. En el caso de las aguas muy contaminadas o con contaminantes especiales deberán recibir un tratamiento especializado previo al tratamiento convencional.

El proceso de tratamiento realizado dependerá de la naturaleza del elemento contaminante, de su concentración y del caudal y será dado por una combinación de procesos unitarios.

Estas alternativas dependen de la cantidad generada de agua residual de los procesos de sodificación y lavado a tratar, por lo que una vez realizados los balances de masa y energía se discutirá la alternativa más adecuada.

La Figura 6 detalla un esquema general de cada operación unitaria que integra un sistema de tratamiento de aguas diseñado principalmente para eliminar hidróxido de sodio del influente a tratar y obtener agua para uso de riego.

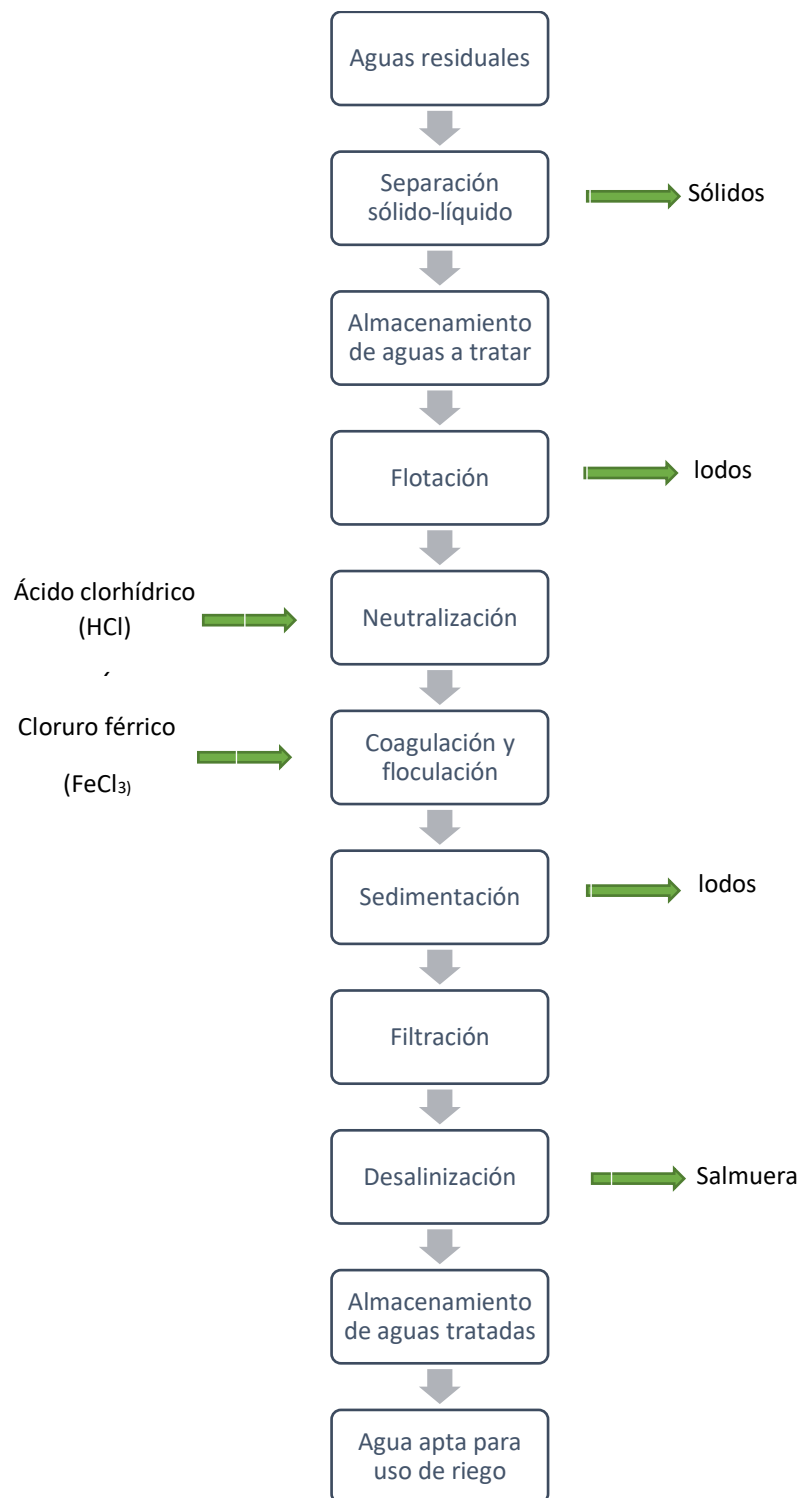


Figura 6: Esquema general del sistema de tratamiento de las aguas generadas en la producción de aceitunas.

5.1. Separación sólido-líquido

Esta operación unitaria se aplica para eliminar todo el material grueso que generalmente está flotando y que da impacto visual negativo. La función es extraer de las aguas brutas la mayor cantidad posible de la materia que arrastran, y que ocasionaría problemas en los tratamientos posteriores (Abarca *et al.*, 2017).

El objetivo es eliminar posibles restos sólidos de mayor tamaño, que acompañan a dichos efluentes, como son residuos de pulpa de aceitunas, hojas de olivo y restos de huesos.

La aceituna en general tiene un tamaño medio de 1 a 4 cm de longitud y de 0,6 a 2 cm de diámetro (Guevara, 2015). Por lo tanto, sus restos y huesos se encuentran en un orden inferior a estas dimensiones.

Un método típicamente aplicado para la eliminación de estos residuos es el pretratamiento de las aguas con rejillas en el proceso unitario denominado cribado.

Algunas de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales modernas emplean rejas, rejillas gruesas y rejillas finas o mallas. Las rejas (hasta 15 cm de paso) y las rejillas gruesas (6 mm a 2.5 cm de apertura) eliminan sólidos grandes, trapos y sólidos de gran tamaño de las aguas residuales (CONAGUA, 2019).

Las rejillas finas se encuentran en el orden de 1.5 a 6 mm de apertura, principalmente utilizadas para eliminar el material que puede alterar significativamente el funcionamiento y el mantenimiento de las unidades de proceso. También se encuentran las rejillas muy finas con aperturas de 0.2 a 1.5 mm pueden reducir los sólidos en suspensión cerca del nivel del tratamiento primario. Por último, existen rejillas muy finas con aperturas de 1 μ m a 0,3 mm que se pueden utilizar para pulir el efluente, esto es, mejorar el efluente del tratamiento secundario cuando se tienen normas más estrictas.

Estas rejillas o mallas, tienen que ser diseñadas de un material anticorrosivo para evitar el desgaste con la fricción del paso del agua (Oropeza, 2004) y pueden clasificarse en su forma de limpieza, que puede ser mecánica o manual:

Las rejillas de limpieza mecánica, llamadas también rejillas de limpieza automática, suelen instalarse en depuradoras grandes cuyo voluminoso caudal arrastra cantidades de materiales gruesos de forma permanente que no podrían ser evacuados manualmente (Lozano, 2012).

Tienen aperturas que normalmente oscilan entre 6 y 38 mm, con barras establecidas en ángulos de 0 a 30 grados respecto a la vertical y con inclinaciones que varían entre los 75 y 90 grados respecto de la horizontal (CONAGUA, 2019).

Los mecanismos de limpieza son variables dependiendo del fabricante; los más usuales son los de barras dentadas o los de peines giratorios. En las Figuras 7 y 8 se muestran ejemplos de rejillas mecánicas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales con los dos mecanismos de limpieza más utilizados.



Figura 7: Rejilla de limpieza mecánica con peine giratorio. (Lozano, 2012).

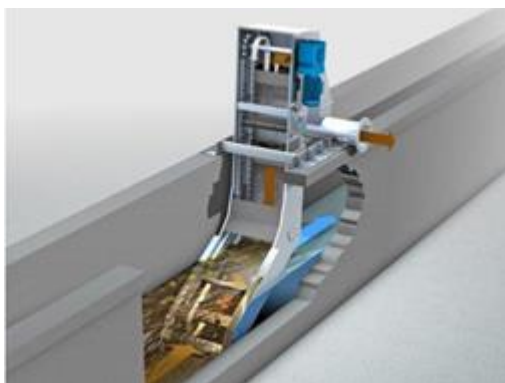


Figura 8: Rejilla de limpieza mecánica con barras dentadas (Lozano, 2012).

Por otra parte, las rejillas de limpieza manual se instalan en depuradoras pequeñas, cuando el espacio es reducido. Para facilitar la extracción de basura y reducir la tendencia a obstrucciones, suelen tener de 25 a 50 mm de paso y la inclinación de las barras suele estar entre 30 y 45 grados respecto a la vertical y 45 a 60 grados con respecto a la horizontal (CONAGUA, 2019), para facilitar las labores de limpieza del operario, quien retira los sólidos retenidos en la rejilla con ayuda de un rastrillo u otra

herramienta similar dentada y los dispone temporalmente en una lámina perforada o canastilla, conocida como depósito escurridor, para eliminar el agua. Posteriormente, estos desechos se llevan a incineración o a un relleno sanitario (Lozano, 2012).

Aunque las rejillas de limpieza manual requieren poco o ningún mantenimiento, exigen rastrillar frecuentemente para evitar la obstrucción.

Si las rejillas se limpian con poca frecuencia, cuando el remanso causado por la acumulación de sólidos finalmente se libera por la limpieza, puede provocar oscilaciones bruscas de flujo. Estas oleadas de alta velocidad pueden reducir la eficiencia de captura de sólidos, los cuales pasan a las unidades de los sistemas siguientes. Las Figuras 9 y 10 muestran ejemplos de rejillas de limpieza manual.



Figura 9: Rejilla de limpieza manual (CONAGUA, 2019)



Figura 10: Rejilla de limpieza manual.

5.2. Sistema de almacenamiento de aguas para tratamiento

El almacenamiento de las aguas para tratamiento es un aspecto importante a considerar, dado que la producción de aceitunas de mesa fluctúa durante el año, en consecuencia, genera un influente variable para el sistema, por lo que es necesario amortiguar las variaciones de caudal y así lograr un caudal aproximadamente constante para un adecuado funcionamiento de todas las operaciones unitarias.

5.2.1. Volumen del estanque de almacenamiento

Las bases de diseño están definidas por la variación del caudal de alimentación de la instalación a lo largo de un periodo de tiempo. El volumen requerido para el estanque de almacenamiento se puede determinar bien mediante representaciones gráficas de la variación de caudal a lo largo del día o bien mediante balances de masas a lo largo del tiempo, que se pueden plasmar en forma de tabla en una hoja de cálculo.

- **Método gráfico (método de Metcalf & Eddy)**

El volumen necesario del estanque de almacenamiento se determina a partir de un gráfico de caudales a tratar, en el que se representa las cantidades acumuladas a lo largo del día, tal como se muestra en la Figura 11. En el mismo gráfico se muestra también el caudal medio diario, representado por la pendiente de la recta que va desde el origen hasta el punto final del gráfico.

En la práctica, el volumen del tanque de almacenamiento debe ser superior al determinado por consideraciones teóricas. Se recomienda que el volumen adicional puede variar entre el 10 y el 20% del valor teórico.

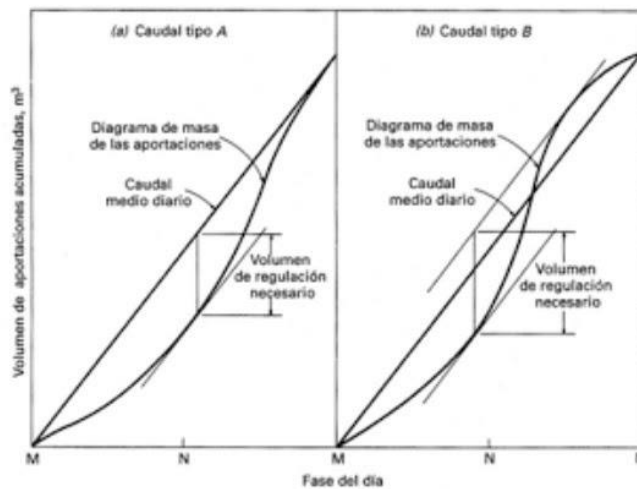


Figura 11: Diagramas de masa esquemáticos para la determinación del volumen de homogeneización necesario para dos tipos de variaciones de caudales (Metcalf & Eddy, 1995).

- **Método de balance de masas**

Es un método más exacto y fácil de realizar que el método gráfico. Para llevarlo a cabo se necesitan los siguientes datos expresados en una hoja de cálculo.

- a) Periodo de tiempo considerado (de hora en hora, por ejemplo).
- b) Volumen de agua que llega a la planta en el referido periodo de tiempo (m^3).
- c) Volumen acumulado de agua que llega a la planta desde el tiempo cero (m^3). El volumen de agua acumulado en un día dividido por 24 h dará el caudal medio (m^3/h).
- d) Volumen de agua extraído de la balsa desde el tiempo cero, que corresponderá con el caudal medio multiplicado por el número de horas transcurrido.
- e) Diferencia entre las dos columnas anteriores.
- f) Ésta última columna será un conjunto de valores positivos y negativos.
- g) Los valores positivos corresponden con la cantidad de agua que se precisa almacenar, al ser las cantidades extraídas inferiores a las llegadas.
- h) Los valores negativos representan el agua que se precisa tener almacenada para aquellos periodos de tiempo en que las extracciones sean superiores a las aportaciones.

El volumen del estanque de almacenamiento será la suma del valor máximo positivo y del valor mínimo negativo en valor absoluto. En el caso de que no existan valores positivos o negativos, estos últimos términos serán cero.

- **Método para proceso discontinuo**

Los métodos anteriormente mencionados son utilizados cuando se trata de procesos continuos, en cambio por su parte para un proceso discontinuo se puede utilizar la siguiente manera de calcular el volumen del estanque de almacenamiento.

En este caso, el volumen del estanque de almacenamiento estará dado por la cantidad de aguas generadas en un periodo de tiempo, el cual puede ser diario, semanal, mensual o anual.

5.2.2. Tipos de estanque de almacenamiento

En el mercado existen distintos tipos de estanques de almacenamiento, los cuales varían en volumen, dimensiones y material.

El volumen y las dimensiones están limitados por la capacidad de la planta y el espacio disponible para instalarlo. Las capacidades de cada uno usualmente son entre 1.000L hasta 10.000L para instalaciones a pequeña escala. En la Figura 12 se muestra un estanque vertical de almacenamiento de agua de 10.000L.

El material varía según las especificaciones técnicas de cada uno, donde gran parte de los estanques son diseñados en PEAD (Polietileno de Alta Densidad), uno de los materiales de mayor calidad del mercado.



Figura 12: Estanque de almacenamiento de agua de 10.000 L.

5.3. Flotación

La flotación es una operación unitaria utilizada para separar las partículas líquidas o sólidas de baja densidad de una fase líquida (Méndez *et al.*, 2008). También conocida como proceso para separar selectivamente los materiales hidrófobos de los hidrófilos (Teichert *et al.*, 2017).

Es un método de separación sólido-líquido y líquido-líquido basado en la diferencia de densidades entre las dos fases involucradas. Esta operación física que consiste en generar pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema (Fernández *et al.*, 2006). Las burbujas de aire se unirán a

partículas más hidrófobas, las harán flotar y transportarlas a la superficie del agua, donde pueden ser removidas como se representa en la Figura 13 (Teichert *et al.*, 2017).

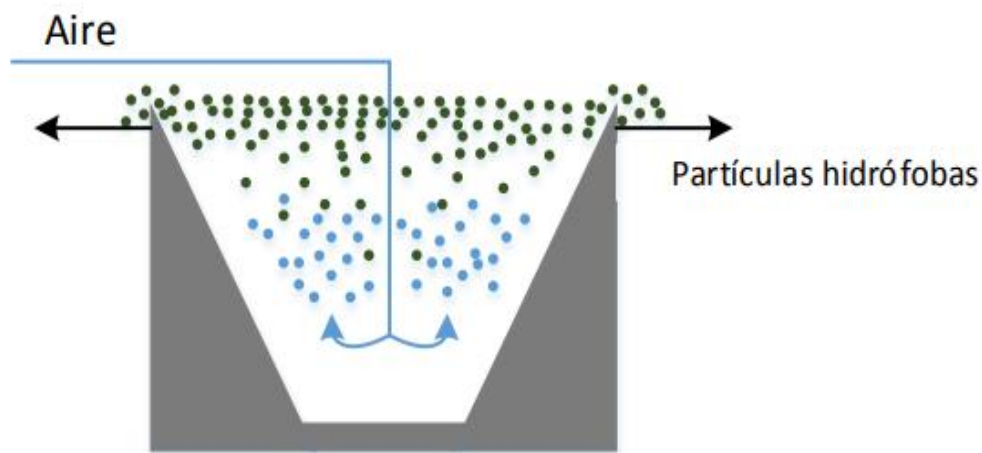


Figura 13: Proceso de flotación (Teichert *et al.*, 2017).

Este proceso ocurre de forma natural cuando la fuerza que provoca la ascensión de la partícula, de manera dominante, es la ejercida por la gravedad. En el caso de la notación forzada, además de la fuerza de gravedad, se utiliza la introducción de burbujas en medio acuoso que, al interactuar con la partícula a separar, incrementan la velocidad de ascensión natural debido a un aumento en la diferencia de densidades entre las fases (Ortiz, 2002).

Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, así como en el caso de emulsiones, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmiscible, como en el caso de aceites y grasas (Fernández *et al.*, 2006).

Los métodos de flotación utilizados en el tratamiento de aguas residuales se describirán a continuación:

5.3.1. Sistema de flotación por aire disuelto (Dissolved Air Flotation System, DAF)

La flotación por aire disuelto (DAF) es una “flotación provocada”. En este tipo de flotación se produce una dispersión de finas burbujas de aire al reducir drásticamente la presión de una corriente saturada con aire (Forero *et al.*, 1999).

Los elementos principales de estos equipos son la bomba de presurización, el equipo de inyección de aire, el tanque de retención o saturador y la unidad de flotación propiamente dicha, donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire (Fernández *et al.*, 2006).

Este proceso es bastante costoso pues se requiere el compresor que genere en el aire una presión de entre 304,07 kPa a 405,43 kPa.

5.3.2. Sistema de flotación por aire inducido (Induced Air Flotation System, IAF)

Esta técnica utiliza equipos motorizados que inducen el gas dentro de la fase acuosa, como los aireadores, flotadores mecánicos que consisten de un impeler o movido por motor, que succiona agua y ésta a su vez succiona el aire del ambiente. A la salida del impeler, unas pequeñas perforaciones producen las burbujas (Forero *et al.*, 1999).

En este caso el tamaño de las burbujas inducidas es mayor que en el caso anterior (DAF) (Fernández *et al.*, 2006). Debido a los grandes tamaños de burbuja, se incrementa la cantidad de aire que se debe inyectar para que el proceso sea eficiente. Este sistema requiere, además, grandes difusores para tener influencia sobre toda el agua a tratar.

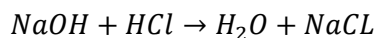
Los sistemas mencionados pueden utilizar burbujas o nano burbujas que pueden contener una saturación de oxígeno, ozono, aire atmosférico y/o nitrógeno, dependiendo de la utilidad que se le quiera dar a este sistema.

Por último, en esta operación hay un parámetro importante a la hora del diseño: La relación aire/sólidos, mL/L de aire liberados en el sistema por cada mg/L de concentración de sólidos en suspensión contenidos en el agua a tratar. Es un dato a determinar experimentalmente y suele tener un valor óptimo comprendido entre 0.005 y 0.06 (Fernández *et al.*, 2006).

5.4. Neutralización

La neutralización en el sistema de tratamiento se lleva a cabo para ajustar el pH de las aguas y remover el hidróxido de sodio (NaOH), además, de manera análoga, generar sal, con el fin de posteriormente utilizar un equipo para la desalinización de agua y obtener un efluente adecuado para el uso de riego.

Es posible remover el NaOH mediante una reacción de neutralización o reacción ácido-base, al agregar un ácido fuerte al tratamiento, tal como el ácido clorhídrico (Santos *et al.*, 2018), esta reacción puede definirse como:



La reacción química ocurre entre el hidróxido de sodio y el ácido clorhídrico, donde se produce cloruro de sodio (NaCl) y agua (H₂O).

5.5. Coagulación y floculación

Como se mencionó en el Capítulo 1, parte de la carga contaminante de estas aguas residuales son sólidos en suspensión, sólidos coloidales (0,001 y 1 µm) y sólidos disueltos.

Esta materia en suspensión conforma una suspensión coloidal. Estas suspensiones coloidales suelen ser muy estables, en muchas ocasiones debido a interacciones eléctricas entre las partículas. Por tanto, tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, por lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de todos los sistemas de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilicen la suspensión coloidal (coagulación) y a continuación favorezcan la floculación de las mismas para obtener partículas fácilmente sedimentables. Es una operación que se utiliza a menudo, tanto en el tratamiento de aguas residuales urbanas y potables como en industriales (industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc.) (Fernández *et al.*, 2006).

El proceso de coagulación – floculación (Fernández, 2015) corresponde a la etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico mayor al agua llamadas flóculos. Este proceso se emplea para:

- a)** Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- b)** Remoción de color verdadero y aparente.
- c)** Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d)** Destrucción de algas y plancton en general.

- e) Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

La coagulación – floculación está compuesta por dos aspectos fundamentales. El primero concierne a la desestabilización de las partículas suspendidas, es decir la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas (coagulación). El segundo corresponde al transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos (floculación) (Fernández *et al.*, 2006).

5.5.1. Coagulación

Corresponde al proceso que ocurre al agregar el coagulante al agua. El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, por superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad, mediante una serie de reacciones químicas y físicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma (Fernández, 2015) para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos (Andía, 2000).

El proceso de coagulación mal realizado también puede conducir a una degradación rápida de la calidad del agua y representa gastos de operación no justificadas. Por lo tanto, se considera que la dosis del coagulante condiciona el funcionamiento de las unidades de decantación y que es imposible de realizar una clarificación, si la cantidad de coagulante está mal ajustada (Andía, 2000).

En la Figura 14 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

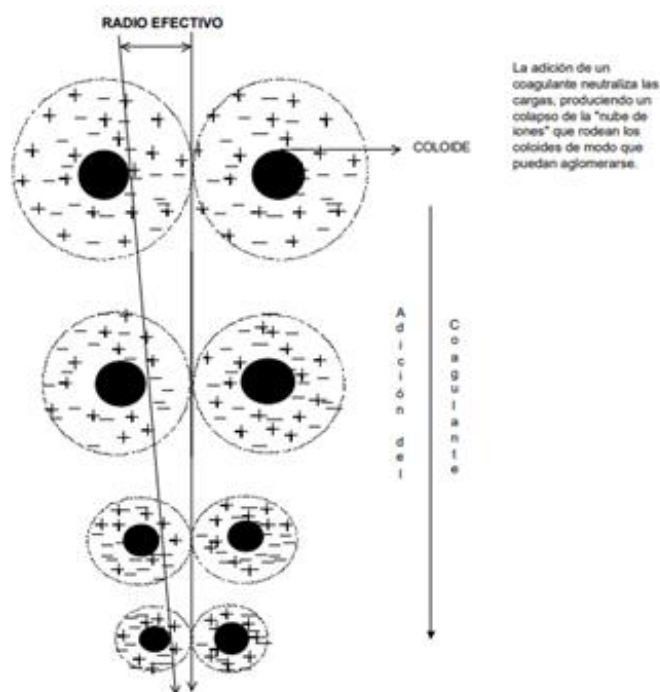


Figura 14: Coagulación (Andía, 2000).

Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide. Habitualmente se utilizan sales con cationes de alta relación carga/masa (Fe^{3+} , Al^{3+}) junto con polielectrolitos orgánicos, cuyo objetivo también debe ser favorecer la floculación (Fernández *et al.*, 2006):

- a) Sales de Fe^{3+} :** Pueden ser Cl_3Fe o $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, con eficacia semejante. Se pueden utilizar tanto en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, por si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.
- b) Sales de Al^{3+} :** Suele ser $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o policloruro de aluminio. En el primer caso es más manejable en disolución, mientras que en el segundo presenta la ventaja de mayor porcentaje en peso de aluminio por kg dosificado.
- c) Polielectrolitos:** Pueden ser polímeros naturales o sintéticos, no iónicos (poliacrilamidas) aniónicos (ácidos poliacrílicos) o catiónicos (polivinilaminas). Las cantidades por dosificar son mucho menores que para las sales, pero tanto la eficacia como el coste es mucho mayor.

5.5.2. Factores que influyen en el proceso de coagulación

- **Tipo de coagulante**

No hay reglas generales en cuanto a qué coagulante es más eficaz en cada caso. Normalmente, para un agua residual concreta, se hace un denominado “ensayo de jarras” (Jar test) donde se analiza la eficacia de los distintos productos (o mezclas de estos) así como el pH y dosificación óptima.

- **Contenido de materia en suspensión (MES)**

Este factor está estrechamente relacionado con la cantidad de coagulante para llevar el agua al óptimo de coagulación. Aunque existe cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante apropiada, la cantidad exacta solo puede determinarse mediante ensayos (Jar test). Aun así, la cantidad puede variar con otros factores, como el tiempo de mezcla y la temperatura del agua.

El tamaño de partícula también influye en la cantidad de coagulante necesaria para realizar la coagulación. Se puede hacer notar, por ejemplo, que las materias suspendidas muy finas son más difíciles de coagular que las partículas más grandes, y por ello, necesitan mayor cantidad de coagulante. Por otro lado, son más fáciles de coagular las suspensiones que contengan muchos tamaños de partículas que las que solo tengan uno (Otero, 2006).

- **pH**

El pH es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua (Andía, 2000). Cuando se deja de operar en la zona óptima para cualquier agua, se produce un desperdicio de producto químico y descenso del rendimiento de la operación.

Para sales de aluminio el rango de pH para la coagulación es de 6.5 a 8.0 y para las sales de hierro, el rango de pH óptimo es de 5.5 a 8.5 unidades.

- **Salinidad**

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- a) **Modificación del rango de pH óptimo.**

- b) Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- c) Modificación de la cantidad de coagulante requerido.
- d) Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

Cuando un agua no tiene iones SO_4^{2-} la zona óptima de pH es muy estrecha, ampliándose con el contenido de iones de sulfato. El efecto de los iones PO_4^{3-} es totalmente distinto, el rango de pH óptimo se estrecha al aumentar el contenido de dichos iones. Su actuación es desplazar la zona de coagulación óptima a valores de pH menores.

- **Temperatura del agua**

La temperatura es un factor limitante para el proceso de coagulación-floculación. Por debajo de un cierto valor, los rendimientos de clarificación son mediocres. Esta influye sobre ciertas propiedades físicas como la viscosidad, la solubilidad, el pH y la cinética de algunas reacciones que intervienen en el proceso de coagulación. Generalmente una disminución de la temperatura retrasa las reacciones químicas, frena el movimiento browniano y disminuye la probabilidad (Otero, 2006).

Otra influencia de la temperatura en la coagulación es su efecto sobre el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, cuanto más fría esté el agua más largo será el tiempo necesario para producir buenos flóculos con una cantidad determinada de coagulante.

- **Color**

La dosificación de coagulante depende estrechamente de la concentración inicial de color, ya que muchas veces las sustancias que producen el color son de naturaleza hidrofílica y pueden reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso, requiriendo una mayor cantidad. En el pH óptimo, el color residual decrece proporcionalmente a medida que aumenta la dosis de coagulante.

- **Influencia de la Dosis del Coagulante**

La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así:

- a) Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escasa, por lo tanto, la turbiedad residual es elevada.

- b)** Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación muy bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

- **Influencia de Mezcla**

El grado de agitación que se da a la masa de agua durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulantes y la otra parte tenga poco o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de agua, para asegurar que la mezcla entre el agua y el coagulante haya sido bien hecha y que se haya producido la reacción química de neutralización de cargas correspondiente.

En primer lugar, la mezcla debiese ser rápida y tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar. En la segunda etapa la mezcla es lenta y tiene por objeto desarrollar los microflóculos. Cabe destacar que una inadecuada mezcla rápida conlleva a un incremento de productos químicos. Las unidades para producir la mezcla pueden ser (Andía, 2000):

- a)** Mezcladores Mecánicos: - Retromezcladores (agitadores)
- b)** Mezcladores Hidráulicos: - Resalto Hidráulico: Canaleta Parshall y Vertedero Rectangular
 - En línea: Difusores (tuberías y canales) Inyectores.

El gradiente de velocidad en un mezclador mecánico no varía con el caudal, tiene la ventaja adicional de controlar el grado de agitación, lo que hace variar la velocidad de rotación del impulsor; sin embargo, tiene la limitante de depender de la energía externa donde una falla puede generar que el proceso de mezcla se perjudique.

Los mezcladores hidráulicos se caracterizan por presentar poca flexibilidad a las variaciones de caudal, pero no depende de una energía externa. Por lo general se utilizan como mezcladores rápidos, canaletas parshall y vertederos.

- **Influencia de la Turbiedad**

La turbiedad es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; mide el efecto de la dispersión que estas partículas presentan al paso de la luz; y es función del número, tamaño y forma de partículas (Andía, 2000).

La coagulación de estas partículas es muy fácil de realizar cuando el pH se mantiene dentro del rango óptimo. La variación de la concentración de las partículas permite hacer las siguientes predicciones:

- a) Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante, con el que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- b) Cuando la turbiedad aumenta se debe adicionar una cantidad de coagulante, aunque no es mucho debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario, cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- c) Cuando la turbiedad es muy alta, conviene realizar una presedimentación natural o forzada.

5.5.3. Etapas o fases de la coagulación

El proceso de coagulación se desarrolla en un tiempo muy corto (casi instantáneo), en el que se presenta las siguientes etapas.

- a) Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas en suspensión.
- b) Formación de Compuestos químicos poliméricos.
- c) Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- d) Adsorción mutua de coloides.
- e) Acción de barrido.

5.5.4. Floculación

Es el proceso que continua a la coagulación (si es que se desea realizar), el cual corresponde a una mezcla lenta, permitiendo el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Una mezcla demasiado intensa los rompe e impide que se vuelvan a formar en su tamaño y fuerza óptima.

- **Parámetros de la Floculación**

Los parámetros que se caracterizan la floculación (Andía, 2000) son los siguientes:

- a) Floculación Ortocinética (se da por el grado de agitación proporcionada: mecánica o hidráulica).
- b) Gradiente de velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
- c) Número de colisiones (choque entre microflóculos).
- d) Tiempo de retención (tiempo que permanece el agua en la unidad de floculación).
- e) Densidad y tamaño del floculo.
- f) Volumen de lodos (los flóculos formados no deben sedimentar en las unidades de floculación).

- **Floculantes**

Los floculantes (Andía, 2000) son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados, se trata de moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis.

- a) **Floculantes Minerales**

Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, el cual debe ser preparado antes de emplear, ya que su preparación es muy delicada y puede presentar el riesgo de la gelatinización.

- b) **Floculantes Orgánicos Naturales**

Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales, como los alginatos, cuya estructura polimérica son los ácidos manuránicos y los ácidos glucónicos.

- c) **Floculantes Orgánicos de Síntesis**

Son los más utilizados y corresponden a macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 10^6 a 10^7 g/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros: aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del

ácido acrílico), neutros o no iónicos (poliacrilamidas), catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).

Según la literatura Ashak *et al.* (2019) los coagulantes polielectrolitos, catiónicos y floculantes aniónicos muestran resultados interesantes en la eliminación de materia orgánica.

5.6. Sistemas de sedimentación

Una vez coagulada y floculada el agua, se debe separar los sólidos del líquido, es decir, las partículas floculantes del agua donde están suspendidas. Esto se puede conseguir mediante la sedimentación.

La sedimentación es la operación unitaria que consiste en separar, por acción de la gravedad, un sólido finamente dividido de un líquido en el que está suspendido, obteniendo una fase de líquido clarificado y otra de lodo más o menos espeso con elevado porcentaje de sólidos, como el proceso mostrado en la Figura 15. Cabe recordar que los sólidos finamente divididos se encuentran habitualmente en disolución formando flóculos. Esta operación unitaria puede llevarse a cabo de forma continua o intermitente (Martin *et al*, 2011).



Figura 15: Proceso de sedimentación ¹.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de sus características y de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida (CEPIS/OPS, 2004).

¹ https://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/Conceptos/uni_04/u5c3s1.htm

- **Sedimentación de partículas discretas:** Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta.
- **Sedimentación de partículas floculentas:** Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloidales desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas -forma, tamaño, densidad- sí cambian durante la caída. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida.
- **Sedimentación por caída libre e interferida:** Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal. Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos (CEPIS/OPS, 2004).

5.6.1. Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación se refiere a la velocidad de descenso a la que una partícula se deposita dentro de una mezcla heterogénea y está determinada por las propiedades del sólido, del líquido o de la mezcla.

La siguiente expresión es conocida como Ley de Newton de la sedimentación y entrega el valor de la velocidad de sedimentación en función del diámetro de la partícula, las masas específicas del agua, la partícula y del N° de Reynolds:

$$V_s = \sqrt{\frac{4g(\rho_s - \rho) d_p}{3 C_d \rho}} \quad (5.1)$$

Donde:

ρ : masa específica del agua

ρ_s : masa específica de la partícula

g : gravedad

C_d : coeficiente de arrastre en función del número de Reynolds

d_p : diámetro de la partícula

En la Tabla 10 se presentan valores de la velocidad de sedimentación correspondiente a partículas de peso específico 2,65 kg/dm³ y a una temperatura del agua de 10° C, teniendo en cuenta distintos diámetros y los tiempos necesarios para sedimentar 0,3 m.

Tabla 10: Valores de sedimentación según diámetro de la partícula (Pérez, 2005).

D (mm)	Clasificación	Velocidad de Sedimentación (mm/s)	Tiempo para sedimentar 0,3 m
10,0	Grava	1000,00	0,3 s
1,0	Grava	100,00	3,0 s
0,1	Arena gruesa	8,00	38 s
0,01	Arena fina	0,154	33 min
0,001	Bacterias	0,00154	35 h
0,001	Coloides	0,0000154	230 días
0,0001	Coloides	0,000000154	63 años

5.6.2. Tipos de sedimentadores

La sedimentación se realiza en unidades denominadas sedimentadores, de acuerdo con el tipo de partícula que se remueva en cada unidad. El tipo de sedimentador se puede clasificar en: sedimentadores o decantadores estáticos, decantadores dinámicos y decantadores laminares.

En este trabajo de título se analizarán las unidades de sedimentadores estáticos, ya que el sistema de tratamiento es a pequeña escala y funciona de manera intermitente.

En este tipo de unidades puede producirse sedimentación o decantación, normalmente con caída libre, en régimen laminar turbulento o de transición. Una unidad de sedimentación consta de las siguientes zonas, con diferentes funciones específicas: zona de entrada y distribución de agua; zona de sedimentación propiamente dicha; zona de salida o recolección de agua; zona de depósito de lodos (CEPIS/OPS, 2004). En la Figura 16 se esquematizan las diferentes zonas de un sedimentador o decantador.

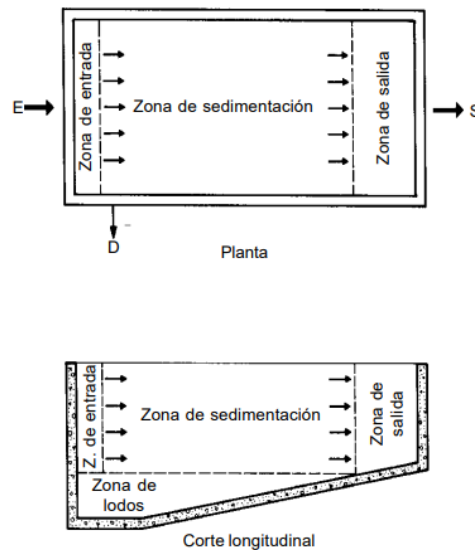


Figura 16: Zonificación de un sedimentador (CEPIS/OPS, 2004).

En los diferentes tipos de unidades de flujo horizontal, la remoción de los lodos o sedimentos puede hacerse en forma intermitente o continua. Se usa el sistema de remoción intermitente de lodos en pequeñas instalaciones o cuando se trata de un agua relativamente clara. Es necesario vaciar el tanque cada cierto tiempo y extraer los lodos manualmente, con la ayuda de mangueras de agua a presión.

Usualmente, los sedimentos se compactan y transforman en una masa pastosa que resbala muy difícilmente; se requieren pendientes de 45° a 60° en el fondo de los tanques.

El tamaño de la zona de lodos dependerá del periodo de funcionamiento del sedimentador y de la cantidad de lodos producidos. Para la remoción continua de lodos, se utilizan sistemas mecánicos denominados barrelosos.

Un ejemplo de los sedimentadores estáticos es el de unidades de flujo vertical. Estas unidades tienen forma cilíndrica (Figura 17). La entrada del agua cruda se realiza por el centro de la unidad en forma descendente. En la parte inferior está ubicada la zona de lodos, que tiene forma cónica con pendiente de 45° a 60°, según la naturaleza del agua y el tratamiento aplicado. La recolección del agua clarificada se realiza en la parte periférica superior de la unidad (CEPIS/OPS, 2004).

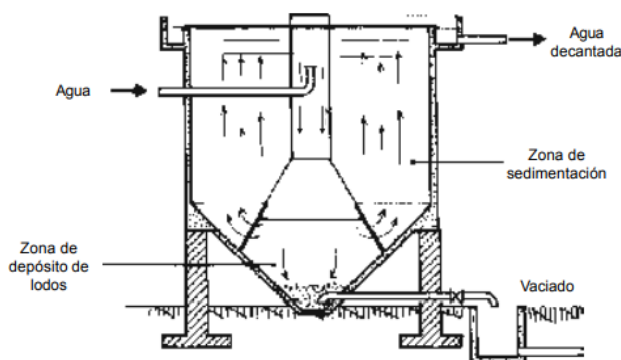


Figura 17: Sedimentador estático de flujo vertical (CEPIS/OPS, 2004).

5.7. Filtración

La filtración es una operación física en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso. Separando las partículas como arcillas y microorganismos como bacterias, virus y quistes protozoicos, que no han sido retenidos en los procesos anteriores (coagulación y sedimentación) (Fernández, 2015). Los medios porosos utilizados además de la arena, que es el más común, son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, entre otros.

La filtración de aguas residuales es necesaria cuando los requisitos o umbrales del agua receptora son altos o si las aguas residuales también deben ser reutilizadas (Teichert *et al.*, 2017). Así también, para

eliminar el flóculo biológico del efluente secundario decantado, precipitados de fosfatos y los sólidos que permanecen después de la coagulación química de las aguas residuales en los procesos de tratamiento físico-químicos.

La filtración puede efectuarse de muchas formas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente; descendente y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por otro lado, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante (Otero, 2006).

Los filtros más utilizados antes de procesos de desalación son los filtros de lecho granular, que consisten generalmente en tanques normalmente metálicos o de plástico reforzado y también se han desarrollado de fibra de vidrio, capaces de resistir las presiones estáticas y dinámicas de la red que se rellenan de arena o grava de un determinado tamaño. La filtración se realiza cuando el agua atraviesa el medio filtrante. Son muy efectivos para retener la mayor parte de la materia en suspensión, sustancias coloidales, materia orgánica e incluso algas, pues pueden filtrar a través de todo el espesor de arena o lecho, acumulando grandes cantidades de contaminantes antes de que sea necesaria su limpieza. A continuación, se presentan los dos filtros más utilizados antes de procesos de desalación en tratamiento de aguas (Puig, 2003).

5.7.1. Filtro de arena

Se trata de un filtro convencional que se aplica a plantas de tratamiento de agua, a menor escala, donde se reduce drásticamente el número de virus (total), bacterias (99 - 99.9%), protozoarios o huevos de nematodos (hasta 99.99%) dañinos para la salud. La turbiedad del efluente en un filtro bien diseñado y operado puede llegar a 1 NTU (unidad de turbidez) (Avellaneda, 2016). Así también remueve, carbón orgánico biodegradable, color real de las agua y hierro.

El filtro de arena consta generalmente de un tambo de lámina o plástico de 200 litros, empacado con una capa de arena fina y una o dos capas soporte de grava graduada. Opcionalmente puede llevar una capa intermedia de carbón vegetal. Además, requiere tubería de PVC o galvanizada, conexiones y un par de llaves. Tanto su construcción y mantenimiento son sencillos, no requiere de mucha mano de obra para operar, el usuario puede realizar la operación del filtro por sí mismo. Se construye de cemento o en tanques de plástico.

El mantenimiento es sencillo solo se requiere remover la arena en los primeros centímetros para restablecer el flujo correcto del líquido. Finalmente, es de fácil acceso para tratamiento de aguas de diferentes fuentes en zonas donde es difícil obtener líquido apto para beber, su uso puede ser a nivel domiciliario. Se puede fabricar con materiales locales de la zona.

5.7.2. Filtro de carbón activo

El filtro de carbón funciona por el mismo principio que el filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón activado es un material natural que con millones de agujeros microscópicos que atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes presentes. Se diseña normalmente para retener sustancias no polares como aceite mineral, polihidrocarburos aromáticos, cloro y derivados, sustancias halogenadas como I, Br, Cl, H, F, sustancias generadoras de malos olores y sabores en el agua, levaduras, materia orgánica, microorganismos, herbicidas, pesticidas, etc. Todo ello sin alterar la composición original del agua, respetando los oligominerales y sin generar residuos (Avellaneda, 2016).

Las propiedades de este medio filtrante hacen que las materias orgánicas y las causantes de olores y sabores, al igual que el cloro residual que se encuentra en el agua, sean absorbidas en las superficies del medio filtrante, eliminándolas así del líquido a tratar.

Generalmente se fabrican en acero inoxidable, en acero al carbono y en fibra de vidrio.

En el contexto de una comunidad rural en vías de desarrollo, estos factores se caracterizan por un alto grado de variabilidad e incertidumbre. Como el carbón puede ser generado localmente a bajo costo, se recomienda un enfoque conservador, diseñando para una cantidad de carbón mucho mayor que la tasa de utilización que se emplea en sistemas avanzados de CAG (Carbón Activado Granulado). Un filtro casero de carbón que suministra 300L /d debe ser renovado por lo menos una vez por año (Avellaneda, 2016).

5.8. Sistemas de desalinización

La desalación es el proceso de separación de minerales disueltos (sales) y otras sustancias indeseables contenidas en las aguas salobres o marinas, para convertirlas en agua adecuada para el consumo humano, apta para uso industrial o agrícola y generando un porcentaje de agua de rechazo (agua concentrada con partículas no deseadas) tal como se muestra en la Figura 18. Las tecnologías más

utilizadas a nivel mundial son la desalación mediante plantas de membranas semipermeables –en particular mediante ósmosis inversa–, y la destilación (Guía de desalación, 2009).

Países como Chile han sido objeto de estudio en el campo de la desalinización, ya que ha implementado grandes plantas para suministro de agua de uso doméstico e industrial en el desierto de Atacama, y se le ha reconocido como ejemplo global de desarrollo de energías renovables (Greenlee *et al.*, 2009). En un estudio realizado en este mismo país, se concluye que el costo total del agua desalinizada se reduce en un 21 a 23 % cuando la energía para su producción se cambia predominantemente, a una fuente renovable (Molinos & González, 2019).

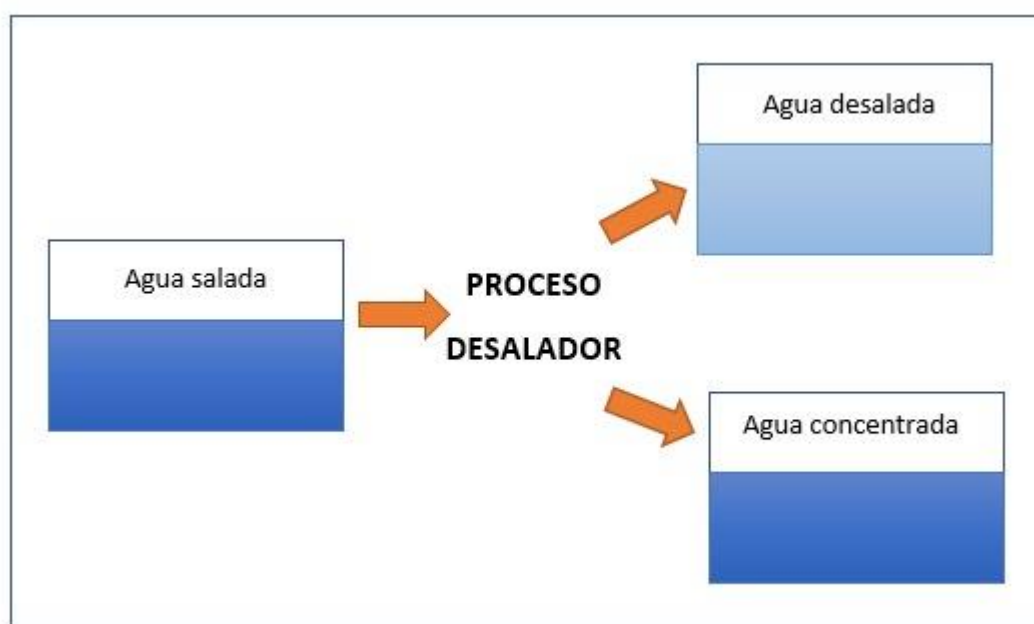


Figura 18: Proceso de desalación, adaptado de (CIRCE, 2001).

A continuación, se describen detalladamente las principales técnicas de desalación según su tecnología, si el proceso es con membrana, térmico o carga eléctrica de iones, poniendo especial interés al principio de funcionamiento, ventajas y desventajas.

5.8.1. Procesos con membrana

En los procesos de separación con membranas la presión suministrada permite el rechazo de los constituyentes disueltos en el agua de alimentación del sistema. Las membranas son permeables al

agua, pero no a las sustancias presentes en ella, por esto son rechazadas y removidas. En la industria del agua potable estos procesos se utilizan para desalinización, ablandamiento, remoción de sólidos orgánicos disueltos, color y bacterias (Domínguez *et al.*, 2019).

Las tecnologías de membrana suponen un paso adelante en la filtración convencional aplicada tradicionalmente en el tratamiento del agua. A continuación, se explican los conceptos fundamentales de la ósmosis inversa y la electrodiálisis.

- **Ósmosis inversa**

La tecnología de ósmosis inversa se fundamenta en el fenómeno natural de ósmosis, proceso químico a través del cual dos soluciones de diferentes concentraciones obtienen el equilibrio cuando se presenta flujo de agua a través de una membrana semipermeable desde la solución diluida hacia la más concentrada. La fuerza responsable de este movimiento se conoce como presión osmótica y está directamente relacionada con la concentración de sales en las soluciones. Si el proceso se invierte forzando la solución a través de la membrana en la dirección opuesta mediante la aplicación de una presión mayor a la osmótica del lado de la solución concentrada, se lleva a cabo la ósmosis inversa. Esta es una forma de obtener agua dulce a partir de una solución de agua salada, el agua del producto es desmineralizada y el agua residual queda más concentrada en sales que la solución original (Duncan, 2014).

En la unidad de ósmosis inversa, mediante la bomba de alta presión, se impulsa el agua de alimentación (pretratada) a través de las membranas, las cuales posibilitan la separación de las partículas contaminantes contenidas en el agua potable. De esta forma, en la primera salida de las membranas se obtiene un flujo de agua purificada (permeado) y en la segunda un flujo de agua con partículas no deseadas (rechazo).

Los sistemas de ósmosis inversa están compuestos principalmente por los módulos de membranas, bombas de alta presión, central eléctrica y dispositivos de recuperación de energía en algunos casos y su requerimiento energético depende principalmente de las propiedades de la membrana y de la salinidad del agua de alimentación. En la Figura 19 se representa un esquema general de una planta de osmosis inversa.

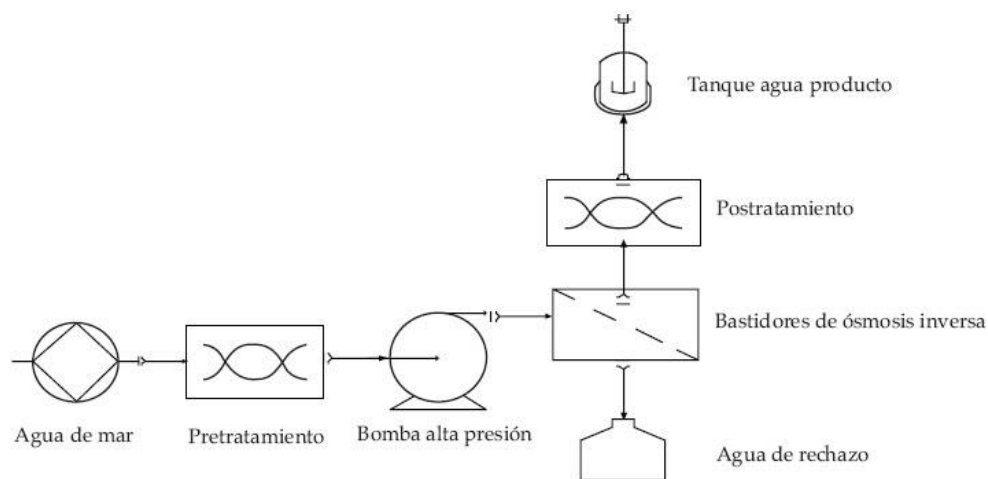


Figura 19: Esquema general de una planta de Ósmosis inversa (Dévora *et al.*, 2011).

Dentro de las ventajas de utilización de estos sistemas destacan: menor consumo de energía en comparación con otros procesos de desalinización, bajos costos de inversión a bajas capacidades, facilidad de operación, flexibilidad en el aumento de la capacidad de tratamiento, tamaño compacto y facilidad para adaptarse a fuentes de energía renovables (Alghoul *et al.*, 2016). La Figura 20 muestra un equipo de osmosis inversa de tamaño compacto.



Figura 20: Equipo de Ósmosis inversa.

- **Electrodiálisis**

La técnica de electrodiálisis permite separar iones de soluciones mediante el uso de membranas permeables a los aniones y cationes utilizando un gradiente de potencial eléctrico. Para ello las membranas se colocan de forma alterna, formando celdas. En los extremos de las

celdas, se colocan los electrodos, ánodo y cátodo, tal como se representa en la Figura 21, que generan la diferencia de potencial eléctrico que permite el movimiento de los iones y su separación (Ávila *et al.*, 2000).

Como resultado de este proceso se obtiene un agua producto con una concentración de sales menor que el agua de alimentación y un subproducto de rechazo, la salmuera, con una elevada concentración de sales. Las dos corrientes de agua fluyen en paralelo entre las membranas: el agua producto se desala progresivamente, mientras que la salmuera se va concentrando también progresivamente (Guía de desalación, 2009).

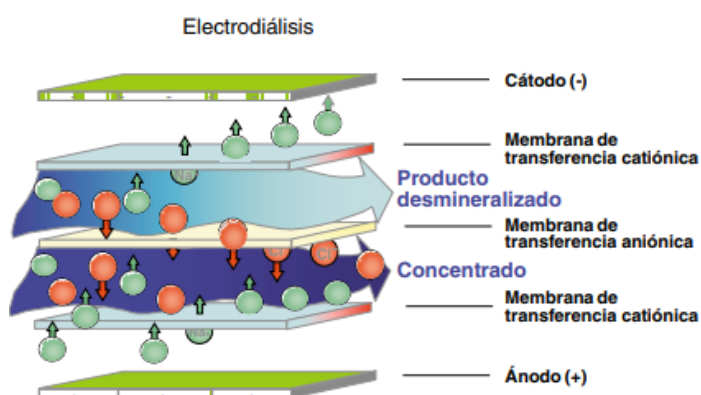


Figura 21: Esquema de proceso de electrodiálisis (Guía de desalación, 2009).

En este proceso, las sales disueltas ionizadas atraviesan las membranas y de esta forma se eliminan las partículas cargadas eléctricamente; no produce una eliminación total de sales, sino que, en la práctica, la reducción de salinidad es del orden del 40%. Para efectuar una determinada reducción se dispone de una cascada de células de electrodiálisis. Este proceso puede competir de forma ventajosa con la destilación para aguas de baja salinidad (salobres), pero no con el agua marina. La explicación reside en que mientras en los procesos de destilación el costo de la operación no depende de la salinidad del agua de partida, en la electrodiálisis el consumo de energía es proporcional al contenido de sólidos disueltos. No se tratan por electrodiálisis aguas con más 5.000 de ppm (Dévora *et al.*, 2011) y es más utilizada para el tratamiento de aguas salobres, aunque consume elevadas cantidades de energía, debido a que se basa en intercambio iónico (Cegarra, 2014). La Figura 22 muestra un esquema general de una planta de electrodiálisis.

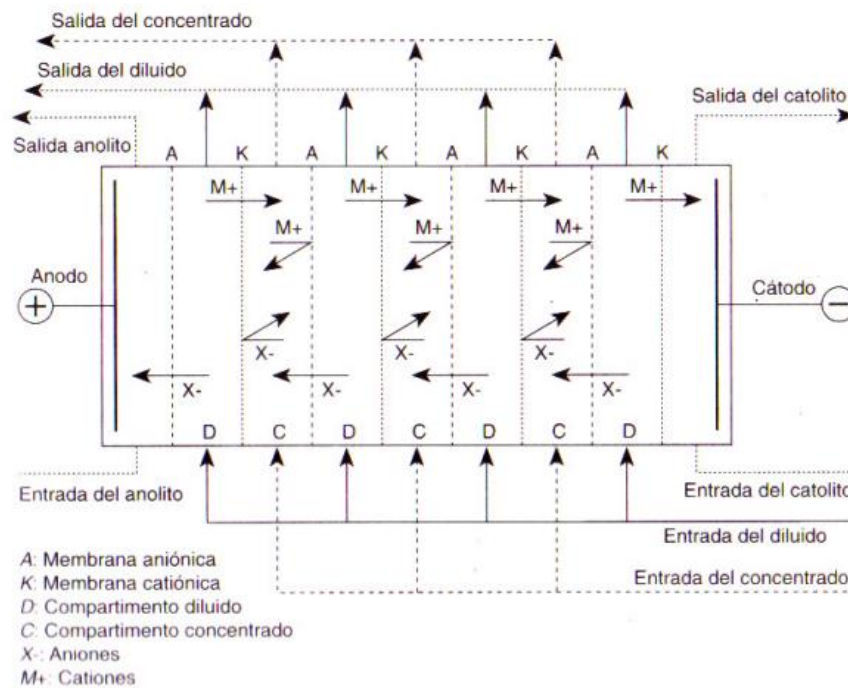


Figura 22: Esquema general de una planta de electrodiálisis de celdas de dos compartimientos (Medina, 2007).

Una ventaja de esta disposición es que sólo utiliza dos electrodos para un número muy elevado de membranas y, por lo tanto, las reacciones irreversibles que se producen en los electrodos se distribuyen en muchos compartimientos de concentrados y diluidos, con lo que se minimizan sus efectos. Además, los problemas que pueden ocasionar el manejo de los productos formados en los electrodos son asimismo minimizados (Cegarra, 2014).

Otra desventaja es que las membranas son caras y están sometidas a polarización e incrustación si la intensidad de corriente es elevada. La presencia de materia orgánica, sílice disuelto y hierro en el agua de alimentación, incrusta y reduce la vida de las membranas (Arreguín, 2000).

La electrodiálisis tiene un consumo energético de tipo medio, dado que sólo utiliza agua de baja salinidad, una desventaja respecto a sistemas de ósmosis inversa y térmico (Devora *et al.*, 2011).

En La Figura 23 se puede observar un equipo de electrodiálisis a escala real.



Figura 23: Equipo de electrodiálisis.

Es importante destacar que los sistemas de desalación con membrana se emplean según el proceso; la electrodiálisis para desalar agua salobre, y la ósmosis inversa tanto para agua salobre como para agua de mar.

5.8.2. Procesos térmicos

- **Evaporación súbita multietapa (Multistage Sudden Evaporation, MSF)**

La desalación obtenida por destilación súbita o flash, consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales. Este método se basa en reducir abruptamente la presión del agua (generalmente de mar) por debajo del valor de su presión de vapor en equilibrio, ocurre una evaporación súbita o ebullición explosiva de la misma (y por lo tanto de carácter irreversible) (Macias & Fasce, 2013).

El proceso se basa en la ebullición de agua en un evaporador de numerosas cámaras que operan a temperaturas y presiones progresivamente decrecientes. Con ello se consigue evaporar agua en cada una de las etapas para formar el conjunto de la producción total, tal como se muestra en la Figura 24.

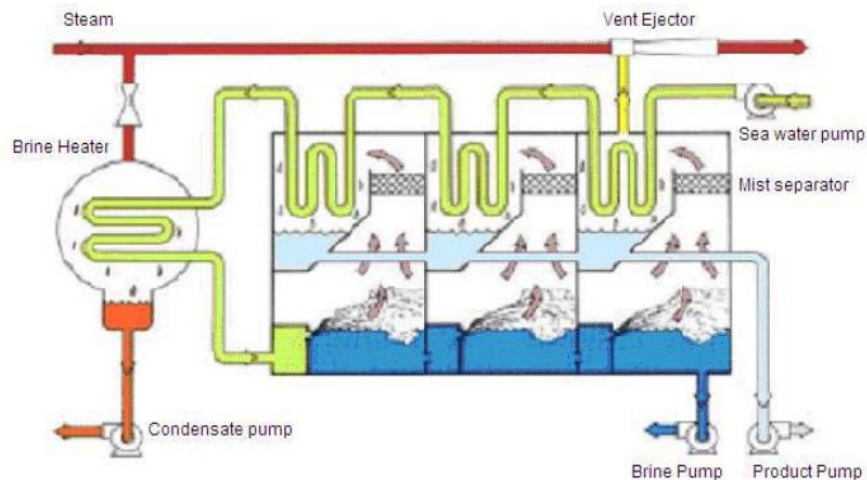


Figura 24: Destilador MSF (Hernández, 2011).

En primer lugar, la alimentación pasa por los condensadores de la sección de rechazo de calor, donde refrigera el calor aportado en otra parte de la planta. Una parte de esa corriente se desecha, mientras la otra pasa por el pretratamiento (que puede ser de tipo ácido y desgasificación o de tipo antiincrustante), tras ello pasa por el condensador de cada una de las etapas, utilizando el calor de condensación del vapor para calentar la alimentación, hasta que llega a la última etapa, donde recibe un aporte de calor extra de una caldera o un regenerador de calor.

A partir de aquí, la salmuera entra a la primera etapa para evaporación flash. La parte que no se evapora pasa como alimentación a la segunda etapa y sucesivamente, hasta llegar a la última. El vapor de cada etapa, una vez condensado en el haz de tubos superior, se recoge en una bandeja, mezclándose el producto de cada etapa para dar lugar al destilado o producto total de la planta (Hernández, 2011).

Este tipo de destilación es especialmente utilizado y válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada) (CIRCE, 2001). Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permite una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas, así también su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria. La capacidad de estas plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras, en virtud a la cantidad de etapas conectadas en cascada sin problemas de operación, así como su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1 m³ de agua desalada, es de

los más altos de los procesos estudiados (a este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta), además se caracteriza por su alto costo de operación y su costo de instalación no es más bajo que otros procesos de desalación.

- **Evaporación múltiple efecto (Multiple Effect Distillation, MED)**

Este proceso conocido también, como destilación múltiple efecto, se basa en colocar varios evaporadores en serie (como se representa en la Figura 25) que funcionan bajo el principio de evaporación y condensación, dentro de una misma unidad, reduciendo la presión de ambiente en cada uno de los efectos o evaporadores. De modo que cada evaporador trabaje a una presión ligeramente inferior al anterior. Entonces, como el punto de ebullición disminuye al hacerlo la presión, se puede utilizar el vapor generado en cada evaporador como medio de calentamiento del siguiente evaporador, y así sucesivamente. Evidentemente las temperaturas de ebullición y las presiones en los distintos evaporadores no pueden ser las mismas (Prats, 2000). El vapor de una de las celdas se usa para evaporar el agua de la siguiente mientras que el aporte de energía primaria se hace sobre la primera de las etapas (Tuset, 2019). La Figura 26 muestra un equipo de destilación por múltiple efecto a escala real.

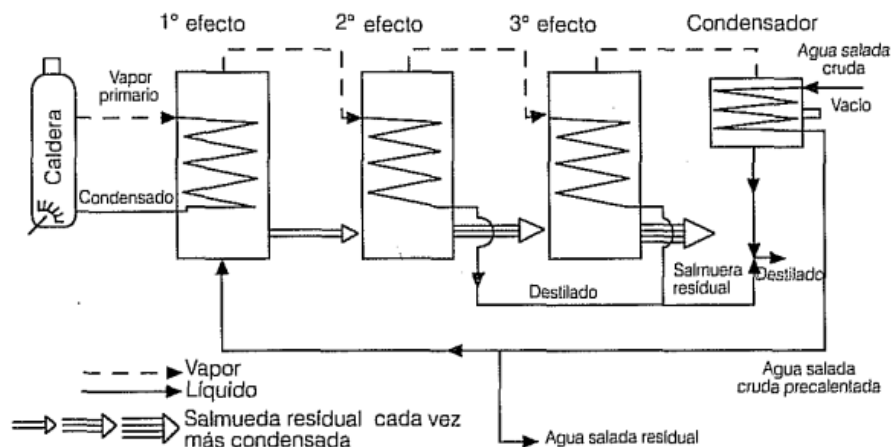


Figura 25: Proceso de evaporación multi efecto (3 EFECTOS) (Arreguín & Martín, 2000).



Figura 26: Equipo de destilación por múltiple efecto (MED) (Tuset, 2019).

La primera etapa (más caliente) se nutre de vapor externo de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión (o extracción de una de condensación). En el caso de agua de mar por lo general, para precalentar se utilizan calderas de cogeneración donde llevan al agua hasta su punto de ebullición, y posteriormente entra en forma de vapor al primer efecto. Dicho vapor se condensa en el interior de unos conductos, transfiriendo su calor de evaporación al agua de alimentación que moja los conductos por fuera, para su evaporación. El agua restante y el vapor producido se transfieren luego a la etapa siguiente para sufrir otra evaporación y el ciclo se repite tantas veces como efectos hayan, y continúa hasta que la temperatura del vapor decrece a entre 30 y 40°C aproximadamente. La presión disminuye secuencialmente a medida que la temperatura decrece, y en algunas ocasiones se añade más calor en cada efecto para mejorar el rendimiento térmico de la planta, aunque eso implica un costo mayor (Fajardo, 2018).

Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua a tratar que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación (Hernández, 2011).

El número total de efectos está limitado por varios factores, entre ellos el rango de temperatura total a disposición, y la diferencia mínima de temperatura permitida entre cada par de efectos sucesivos.

Este tipo de tecnología a nivel industrial se ha utilizado durante largo tiempo, siendo en sus inicios su uso tradicional en la industria azucarera y de producción de sal (Contreras, 2012). Así también, este tipo de plantas son de tamaño medio y están especialmente indicadas en los casos de poder aprovechar calores residuales procedentes de instalaciones de cogeneración, turbinas, entre otros (Tuset, 2019).

La cantidad de efectos es un factor importante para determinar el consumo energético y el costo de instalación del proceso, ya que, si se incrementan, estos dos últimos también lo harán, habitualmente se ocupan esta entre 3 y 12, aunque ocasionalmente pueden ser más.

Las principales características del proceso MED son la alta eficiencia térmica y la elevada pureza del agua obtenida. Los procesos MED son más económicos que otros procesos de desalación. Su operación a temperaturas bajas, su adaptabilidad a diferentes acoplamientos, y los materiales de construcción relativamente baratos para los tubos de transferencia de calor y las carcasas que cubren el evaporador, hacen que el proceso sea muy flexible en cuanto a sus costos.

La principal cualidad del proceso es que la totalidad de la energía es proporcionada antes de que se presente la ebullición, y en los pasos posteriores no se necesitara energía adicional, haciendo que el proceso sea termodinámicamente rentable. Con respecto a una MSF tienen un mejor rendimiento global, además el consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de circulación al no existir recirculación de salmuera.

La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF (nunca suele superar los 15.000 m³ /d) (CIRCE, 2001) y no se requieren pretratamientos físico-químicos permitiendo acortar procesos de desalinización. Posee también mayor flexibilidad respecto a rangos de aplicación, donde pueden utilizarse para mediana y gran escala (> 1000 m³/d) escogiendo la configuración más apropiada para cada aplicación (Novoa, 2017). Por otro lado, también se caracteriza por su elevado consumo energético y es difícil de escalar a tamaños más pequeños debido a la complejidad y el gran número de piezas necesarias.

- **Compresión de vapor**

En el caso del agua de mar (sector donde existe mayor información de este proceso), el sistema de compresión de vapor consiste, en primer lugar, evaporar el agua, luego aumentar la temperatura de condensación de vapores mediante un compresor y finalmente generar su

condensación a través de un intercambiador de calor, enfriado con la misma agua de evaporación. En La Figura 27 se puede observar la representación del proceso.

La evaporación se produce en la parte más baja de la cámara, previa eliminación de los gases incondensables (aire) mediante una bomba o eyector de vacío. Los vapores son extraídos por el compresor, que los hace circular por el interior de los tubos condensadores. Cuando el vapor se comprime, aumenta su temperatura de condensación y, al enfriar el condensador con el agua de evaporación, se condensan los vapores y el agua dulce obtenida se extrae del evaporador con la bomba de producto. Para mantener la salinidad constante en el interior del evaporador parte de la salmuera refrigerante se envía al mar. Para compensar la salmuera y producto extraídos hay que introducir agua de mar. Como el agua de mar es fría y la salmuera y producto están calientes, se les hace pasar por un intercambiador y así se recupera gran parte de su energía calorífica.

La compresión térmica de vapor (*Thermal Vapor Compression*) obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto MED, pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos o termocompresores (esto no es más que un eyector) que consume vapor de media presión proveniente de la planta de producción eléctrica, si se tiene una planta dual, sino sería de un vapor de proceso obtenido expresamente para ello, y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndose y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la 1ª etapa, que es la única que consume energía en el proceso (Del rio, 2016).

También se puede mencionar que es un sistema compacto y de reducido tamaño como se puede observar en la Figura 29 en su representación a escala laboratorio. Por demás es capaz de obtener un producto de elevada pureza.



Figura 29: Equipo de desalación por compresión mecánica de vapor.

5.8.3. Procesos carga eléctrica de iones

- **Intercambio iónico**

En el conjunto del proceso de desalación, el intercambio iónico puede utilizarse tanto en el pretratamiento para eliminar principalmente calcio, magnesio, bario y boro del agua; como en el postratamiento para eliminar de igual manera boro u otras sustancias (Guía de desalación, 2009).

En el proceso de intercambio iónico ocurre una reacción química en la que los iones móviles hidratados de un sólido son intercambiados por iones de igual carga de un fluido (Choi, 2002). Este proceso consiste en pasar el fluido sobre un intercambiador catiónico y/o aniónico sólido, reemplazando los cationes y/o aniones por el ion hidrógeno (H^+) y/o el ion hidroxilo (OH^-) respectivamente (Lambraño *et al.*, 2018).

La eficiencia de este proceso depende de factores como la afinidad de la resina por un ion en particular, el pH del fluido, la concentración de iones, la temperatura y la difusión.

Los primeros productos empleados en la industria como intercambiadores iónicos fueron las zeolitas inorgánicas de origen natural, como los silicatos de aluminio; después se introdujeron los intercambiadores iónicos orgánicos, hechos a partir de productos naturales sulfonados como el carbón, la lignita y la turba; sin embargo, en la actualidad se utilizan resinas sintéticas en su mayoría de poliestireno-divinilbenceno conocidas como resinas de intercambio iónico (Lambraño *et al.*, 2018).

Las resinas son pequeñas sustancias granuladas o esféricas (como se pueden observar en la Figura 30) insolubles en agua, compuestas por una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz polimérica reticulada por la acción de un agente entre cruzante (Lambraño *et al.*, 2018).

Estas resinas se pueden clasificar en cuatro grandes grupos (Guía de desalación, 2009).

- a) Resinas intercambiadoras de cationes.
- b) Resinas intercambiadoras de aniones.
- c) Resinas selectivas.
- d) Polímeros de adsorción.



Figura 30: Perlas de resina utilizadas en el tratamiento de agua mediante intercambio iónico ².

Su principal campo de aplicación es el ablandamiento del agua empleada en los hogares, y la producción de agua blanda y desmineralizada en la industria, como, por ejemplo: en las centrales térmicas, refinerías, en la industria química, así como también en aplicaciones especiales como la síntesis química, investigación médica, procesos de la industria alimentaria, minería, agricultura y en una gran variedad de otras aplicaciones (Guía de desalación, 2009). La Figura 31 muestra un esquema general de una columna de intercambio iónico.

² <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-el-intercambio-ionico/>

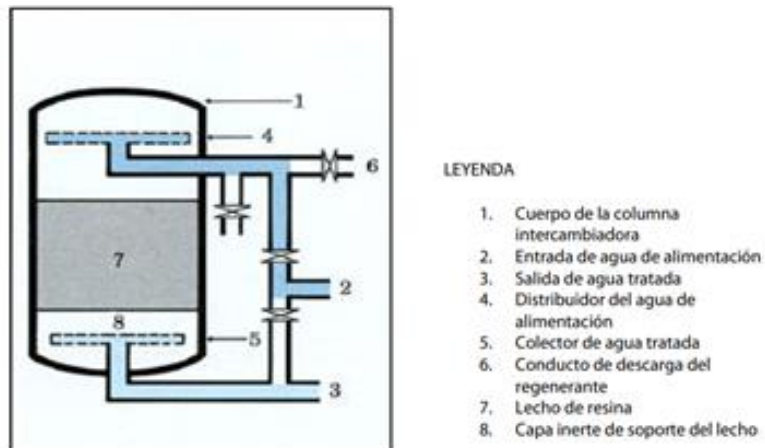


Figura 31: Esquema general de una columna de intercambio iónico con lecho fijo (Sánchez, 2015).

El intercambio iónico es una tecnología económica, pero con desventajas de alta variabilidad en su funcionamiento, lo que ha llevado a que muchas empresas han optado por cambiar de tecnología hacia lo menos económico sin intentar remediar el problema (Lambraño *et al.*, 2018).

Entre sus ventajas se destaca poder obtener resultados rápidos, tener aplicaciones a corto y largo plazo, que permite instalaciones rápidas y requiere un mantenimiento mínimo. La Figura 32 muestra como es un equipo de intercambio iónico.



Figura 32: Equipo de intercambio iónico³.

³ <http://www.iqfsa.com.ar/ablandadores.html>

5.8.4. Comparación de alternativas de sistemas de desalinización

De acuerdo a los sistemas de desalinización mencionados anteriormente, se decide comparar tres alternativas presentadas en la Tabla 11, las cuales son las que más se adecuan al sistema de tratamiento propuesto, ya que dentro de las características que debiese tener, es que se debe trabajar a pequeña escala y de forma discontinua, conforme a los caudales generados por los productores.

Tabla 11: Comparación de alternativas de sistemas de desalinización.

Sistemas de desalinización	Osmosis inversa	Electrodiálisis	Intercambio Iónico
Consumo de energía	Medio	Alto	Medio
Costos Unitarios	\$	\$\$\$	\$\$
Mantenición	Baja	media	Baja
Costos de mantención	\$	\$\$\$	\$
Funcionamiento	Sencillo	Sencillo	Sencillo
Riesgo de daño por mal uso	Si	Si	Si
Fuente de energía	Eléctrica tradicional o energías renovables	Eléctrica tradicional o energías renovables	Eléctrica tradicional o energías renovables

5.9. Sistemas de almacenamiento de aguas tratadas

Las aguas que se obtienen del sistema de tratamiento se deben almacenar en tanques donde estarán disponibles para uso de riego.

El sistema de almacenamiento de las aguas tratadas se debe instalar para almacenar los volúmenes de agua que se obtienen del sistema, de lo contrario, se tendrían que utilizar de inmediato una vez obtenidas y esto puede generar un problema de exceso de agua disponible para utilizar. Además, si no fuese así, el sistema debería estar funcionando constantemente para tener acceso a agua dulce tratada, lo que podría ser inconveniente.

Actualmente, el material más utilizado para los estanques de almacenamiento de aguas son el polietileno, polipropileno y acero inoxidable. El polietileno en especial tiende a ser más liviano y logra

una excelente protección antibacteriana. Asimismo, estos materiales garantizan mantener el agua sin sabor y sin olor, un ejemplo de estos estanques se muestra en la Figura 33.

De preferencia estos estanques pueden tener una capa negra intermedia o externa para evitar la fotosíntesis o formación de algún alga al interior.



Figura 33: Ejemplo estanques de almacenamiento de agua, entre 10.000 y 30.000L de capacidad.

6. BALANCE DE MATERIA

El presente Capítulo tiene como objetivo estimar los flujos de entrada y salida en los diferentes procesos del sistema para obtener datos que permitan diseñar y dimensionar los equipos que componen el sistema de tratamiento.

Los balances de masa se basan en la Ley de Conservación de la Materia, en forma sintética y general se puede expresar que para un sistema abierto:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Acumulación} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Entrada por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Salida por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Generación} \\ \text{dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Consumo} \\ \text{dentro} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) \quad (6.1)$$

Si no existe generación o consumo de materia dentro del sistema, lo anterior queda como:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Acumulación} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Entrada por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Salida por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) \quad (6.2)$$

Si no existe acumulación de materia dentro del sistema, este se encuentra en estado estacionario o uniforme:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Acumulación} \\ \text{dentro del} \\ \text{sistema} \end{array} \right) = 0 \quad (6.3)$$

Lo que implica:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Entrada por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Salida por} \\ \text{los límites} \\ \text{del sistema} \end{array} \right) \quad (6.4)$$

En cambio, al no existir flujos de entrada ni de salida, estamos en presencia de un sistema cerrado.

6.1. Aguas de entrada al sistema de tratamiento

Se consideró como entrada al sistema de tratamiento, las aguas de la etapa de sodificación y de lavado del procesado de la aceituna, las cuales entran mezcladas al mismo. Se trata de una producción a baja escala, generada por productores artesanales en la zona de Jahuel.

La generación de estas aguas residuales está determinada por la producción de aceitunas, la cual, a su vez, está determinada por la demanda del producto, siendo la temporada de invierno la de mayor demanda y la temporada de verano, particularmente los meses de enero y febrero los de menor demanda y por lo tanto menor producción. Al no ser una producción uniforme mensualmente, se estableció el mínimo de producción generada por los productores semanalmente.

Semanalmente se preparan tres partidas de 300kg, lo que corresponde a 900kg de aceituna. La razón establecida para litros de agua utilizada por kilogramo de aceituna en el proceso, corresponde a 1:1, lo que significa que por 1kg de aceituna se utiliza 1L de agua, tanto en la etapa de sodificación, como en la etapa de lavado. La etapa de sodificación se realiza sólo una vez, en cambio el lavado se repite 6 veces en promedio. Por lo tanto, para producir 900kg semanales de aceituna se utilizan 6.300L de agua (900L en la etapa de sodificación y 5.400L en la etapa de lavado) ya que, como se ha mencionado anteriormente, no existen pérdidas de agua en la producción. Esta cantidad de agua residual puede aumentar en meses como septiembre o en días festivos, donde existe alta demanda del producto. De todas maneras, el aumento suele ser de 300kg más, lo que significaría generar 2.100L más de agua residual.

En la Tabla 12 se describen los parámetros característicos con los que el agua entra al sistema de tratamiento, los cuales se obtuvieron calculando los valores medios de cada rango descritos en la Tabla 5, para aguas de sodificación y lavado. Por otra parte, se calcularon las concentraciones finales luego de la mezcla de las disoluciones con la ecuación 6.5, las cuales siguen la razón de 1:6 (por cada litro de agua residual de sodificación, entran 6 litros de agua residual de lavado). Se repitió en todas las características del agua, excepto en pH y conductividad, en los cuales se establecieron rangos.

$$Cm = \frac{C1*V1+C2*V2}{V1+V2} \quad (6.5)$$

Donde:

Cm: Concentración de la mezcla

C1: Concentración del parámetro característico en agua de sodificación

C2: Concentración del parámetro característico en agua de Lavado

V1: Volumen agua de sodificación

V2: Volumen agua de lavado

Tabla 12: Características agua residual de entrada al sistema de tratamiento. (Tabla generada a partir de Tabla 5).

Características	Aguas de Sodificación	Aguas de Lavado	Agua mezclada
pH	11,2	9,5	9,5-11,2
NaOH (mg/L)	8.950	1.450	2.521
DQO (mg/L)	23.000	24.600	24.371
DBO ₅ (mg/L)	15.000	12.300	12.686
Solidos volátiles (mg/L)	30.200	35.100	34.400
Solidos Fijos (mg/L)	18.200	10.650	11.729
Solidos disueltos totales (mg/L)	39.400	46.500	45.486
Solidos suspendidos totales (mg/L)	1.750	6,5	256
Azúcares reductores (mg/L)	7.500	7.500	7.500
Polifenoles (mg/L)	2.700	3.250	23.171
Conductividad (mS/cm)	12.050	10.000	10.000-12.050

De igual manera, queda considerar las siguientes características químicas del agua de entrada al sistema, descritas en la Tabla 13, que corresponden a la concentración encontrada en el agua residual de la etapa de sodificación más un lavado. Estas características son importantes a considerar, ya que son indicadores estándares establecidos en los requisitos de la Norma Chilena 1333 en su última modificación de 1987 y se debe dar cumplimiento a los valores determinados para destinar el agua obtenida a regadío.

Tabla 13: Características químicas de aguas residuales del proceso de cocido más un lavado. Adaptado de (Borgo, 2013).

	Valor Agua Residual
Calcio (mg/L)	36,2
Cobre (mg/L)	1,08
Cloruros (mg/L)	1.139
Potasio (mg/L)	1.452
Magnesio (mg/L)	58,8
Sodio (mg/L)	2695
Zinc (mg/L)	0,77

Se estableció que la cantidad de agua de entrada al sistema sería determinada por un máximo de agua residual que se puede generar en una semana, que corresponde a 8.400L. Al considerar un sistema que funcione los 7 días de la semana, se determinó un flujo de entrada de 1.200 L/d de agua residual.

Por último, para determinar el caudal de entrada y salida en cada sistema, se considera que la densidad del agua residual es igual a la densidad del agua, es decir de 1.000 kg/m³, esto debido a que no es posible conocer con exactitud la densidad del agua residual en el sistema de tratamiento, sin embargo, debido a sus características se estima que es similar a la del agua.

6.2. Sistema de almacenamiento de agua residual

El sistema de almacenamiento acopia las aguas generadas en la producción de aceituna, y mediante una bomba suministra 1,2 m³/d a la planta de tratamiento.

6.3. Sistema de flotación por ozono disuelto (Dissolved Ozone Flotation System, DOF)

De acuerdo al estudio de Beltrán *et al.* (2000), donde se reportó el tratamiento con ozono para aguas de almazara, las cuales corresponden a aguas generadas en el proceso productivo del aceite de oliva que contienen características muy similares a las aguas residuales de la producción de aceituna de mesa, como también el estudio de Beltrán *et al.* (2001) de tratamiento con ozono para aguas residuales del aderezo de aceitunas negras, los valores de remoción de contaminantes con este tipo de tratamiento son entre 19,4% y 55% para DQO. Así también en el segundo estudio se obtiene un valor promedio de 37,2% para remoción de DQO además del valor de los rangos mencionados

anteriormente. Así también, para este sistema de flotación de ozono disuelto los siguientes porcentajes de remoción utilizados están determinados bajo el estudio de Ho Lee *et al.* (2008) quien utiliza esta tecnología para el tratamiento de aguas residuales municipales y obtiene como resultado un 82,4% de remoción para DBO₅, 81% para SST y 95% para aceites y grasas, valores utilizados a fin de obtener el balance de materia.

Los flujos de entrada y salida del proceso de flotación DOF se presentan en la Figura 34.

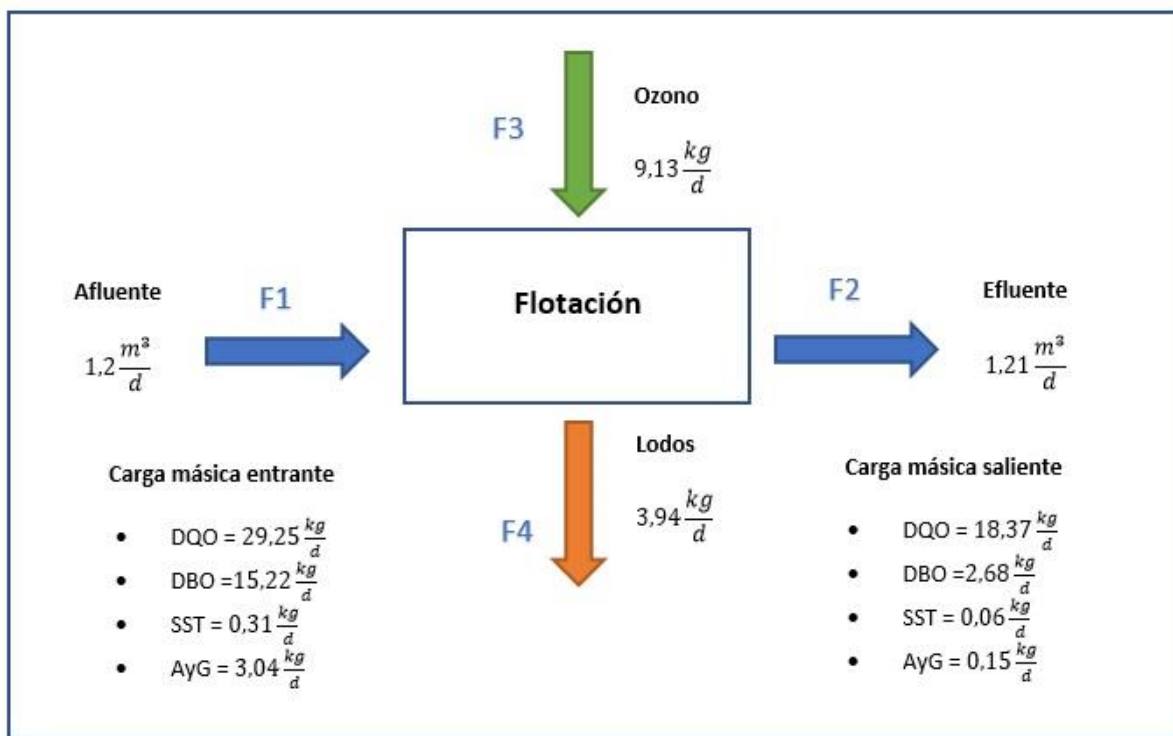


Figura 34: Balance de materia del proceso de flotación DOF.

Para el balance del sistema de flotación se consideran los siguientes valores de concentración afluente obtenidos de la Tabla 12.

$$DQO = 24.371 \frac{mg}{L}$$

$$DBO_5 = 12.686 \frac{mg}{L}$$

$$SST = 256 \frac{mg}{L}$$

Además, el contenido de grasas y aceites contribuye alrededor de 20% de la DBO_5 (Romero, 2005) por ello, el parámetro de aceite y grasas (AyG) correspondería a un valor de 2.537,2 mg/L. El cálculo se expone a continuación:

$$\begin{aligned} \mathbf{AyG} &= DBO_5 \times 0,2 \\ &= 12.686 \frac{mg}{L} \times 0,2 \\ &= \mathbf{2.537,2 \frac{mg}{L}} \end{aligned}$$

Los cálculos para estimar la cantidad de ozono requerido para el sistema de flotación, además de la cantidad de lodos generados y agua que sale del sistema, se exponen a continuación:

6.3.1. Carga másica removida

A partir de las siguientes ecuaciones se realizan los cálculos para obtener la carga orgánica másica para cada parámetro.

En primer lugar, se calcula la cantidad de carga másica que entra al sistema mediante la siguiente ecuación:

$$CM = C \times Q \text{ (6.6)}$$

Dónde:

CM = Carga másica $\left(\frac{kg}{d}\right)$

C = Concentración del contaminante $\left(\frac{kg}{L}\right)$

Q = Caudal de entrada al sistema $\left(\frac{L}{d}\right)$

Reemplazando los datos de cada parámetro en la ecuación (6.6) se obtiene:

$$\begin{aligned} \mathbf{CM_{DQO}} &= 24.371 \frac{mg}{L} \times \frac{1kg}{1.000.000mg} 1.200 \frac{L}{d} \\ &= \mathbf{29,25 \frac{kg}{d}} \end{aligned}$$

$$CM_{DBO} = 12.686 \frac{mg}{L} \times \frac{1kg}{1.000.000mg} 1.200 \frac{L}{d}$$

$$= 15,22 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{SST} = 256 \frac{mg}{L} \times \frac{1kg}{1.000.000mg} 1.200 \frac{L}{d}$$

$$= 0,31 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{AyG} = 2.537,2 \frac{mg}{L} \times \frac{1kg}{1.000.000mg} 1.200 \frac{L}{d}$$

$$= 3,04 \frac{kg}{d}$$

La carga másica removida se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$CM_r = CM \times \%remoción \quad (6.7)$$

Dónde:

CM_r : Cantidad de carga másica removida $\left(\frac{kg}{d}\right)$

CM: Cantidad de carga másica del contaminante $\left(\frac{kg}{d}\right)$

% remoción: Porcentaje de remoción del equipo en decimales

Reemplazando los datos de cada parámetro en la ecuación (6.7) se obtiene:

$$CM_{rDQO} = 29,25 \frac{kg}{d} \times 0,372$$

$$= 10,88 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{rDBO} = 15,22 \frac{kg}{d} \times 0,824$$

$$= 12,54 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{rSST} = 0,31 \frac{kg}{d} \times 0,81$$

$$= 0,25 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{rAyG} = 3,04 \frac{kg}{d} \times 0,95$$

$$= 2,89 \frac{kg}{d}$$

6.3.2. Masa de lodo removida

En un sistema de flotación DOF la masa de lodos corresponde a los SST, grasas y aceites. Los cálculos para estimar la cantidad de masa para cada parámetro son los siguientes:

- SST

De acuerdo al cálculo de carga másica removida, se tiene 0,25 kg de sólidos al día, sin embargo, los lodos también están conformados por un alto porcentaje de agua, el cual tiene un valor de 76,14% (Ortiz *et al.*, 1995).

$$Lodos \left[\begin{array}{l} \text{Sólidos} = 23,86\% \\ \text{Líquido} = 76,14\% \end{array} \right]$$

$$Masa_{lodos SST} = \frac{0,25 \frac{kg}{d}}{0,2386}$$

$$= 1,05 \frac{kg}{d}$$

Por lo tanto, la masa total de lodos SST es de 1,05 kg/d.

- Masa de lodos totales

$$\begin{aligned}
 \text{Masa}_{\text{lodos}} &= \text{Masa}_{\text{SST}} + \text{Masa}_{\text{AyG}} \\
 &= 1,05 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 2,89 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \\
 &= 3,94 \frac{\text{kg}}{\text{d}}
 \end{aligned}$$

6.3.3. Consumo de ozono

Según el estudio Beltrán *et al.* (2000), se establece que el consumo de ozono en un equipo de flotación DOF tiene un valor medio de 57,2 g DQO/mol O₃.

A partir de este valor medio se realizaron los cálculos para obtener la masa de ozono requerida, los cuales se exponen a continuación:

$$\text{Masa}_{\text{ozono}} = \frac{CM_{rDQO}}{V_{m\text{ozono}}} \times MM_{\text{ozono}} \quad (6.8)$$

Dónde:

$$V_{m\text{ozono}} = \text{Valor medio de ozono } 57,2 \frac{\text{g DQO}}{\text{mol O}_3}$$

$$CM_{rDQO} = \text{Carga másica removida de ozono} \left(\frac{\text{g}}{\text{d}} \right)$$

$$MM_{\text{ozono}} = \text{Masa molar de ozono} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol O}_3} \right)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (6.8) se obtiene:

$$\begin{aligned}
 \text{Masa}_{\text{ozono}} &= \frac{10.880 \frac{\text{g DQO}}{\text{d}}}{57,2 \frac{\text{g DQO}}{\text{mol O}_3}} \times 48 \frac{\text{g}}{\text{mol O}_3} \\
 &= 9.130 \frac{\text{g}}{\text{d}} \\
 &= 9,13 \frac{\text{kg}}{\text{d}}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el consumo de ozono equivale a 9,13 kg/d.

Es necesario resaltar que el ozono suministrado a el equipo de flotación DOF, en la práctica, una proporción de el va a permanecer disuelto y la otra puede salir del sistema sin reaccionar como ozono gaseoso. A consecuencia de que no es posible conocer la proporción exacta de ozono que reacciona, para efecto del cálculo teórico, se considera que la totalidad del ozono consumido permanece disuelto en el sistema (reacciona).

6.3.4. Balance de materia sistema de flotación

Según la ecuación (6.4), el balance de materia en el sistema de flotación DOF se expone a continuación:

$$F1 + F3 = F2 + F4$$

$$F2 = F1 + F3 - F4$$

$$\begin{aligned} F2 &= 1.200 \frac{kg}{d} + 9,13 \frac{kg}{d} - 3,94 \frac{kg}{d} \\ &= 1.205 \frac{kg}{d} \end{aligned}$$

por lo tanto, en el sistema de flotación DOF el valor de salida es de 1.205 kg/d.

6.3.5. Agua que sale del sistema

El caudal de agua que sale del sistema se obtiene de la siguiente ecuación:

$$M = \rho \times Q \text{ (6.9)}$$

Dónde:

$$M = \text{Masa} \left(\frac{kg}{d} \right)$$

$$\rho = \text{Densidad} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$Q = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{d} \right)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (6.9) se obtiene:

$$Q = \frac{1.205 \frac{kg}{d}}{1.000 \frac{kg}{m^3}}$$

$$= 1,21 \frac{m^3}{d}$$

Por lo tanto, el caudal de salida del sistema de flotación DOF es de 1,21 m³/d.

6.4. Sistema de neutralización y sedimentación

El sistema de sedimentación se lleva a cabo en un equipo adaptado para llevar a efecto los siguientes procesos:

- a) Neutralización de las aguas de tratamiento

Se suministra ácido clorhídrico (HCl) para realizar la reacción de neutralización

- b) Coagulación y floculación de partículas en suspensión

Se suministra cloruro férrico (FeCl₃) para realizar la coagulación y floculación de partículas

- c) Sedimentación de partículas sólidas en suspensión

Los flujos de entrada y salida del proceso se presentan en la Figura 35.

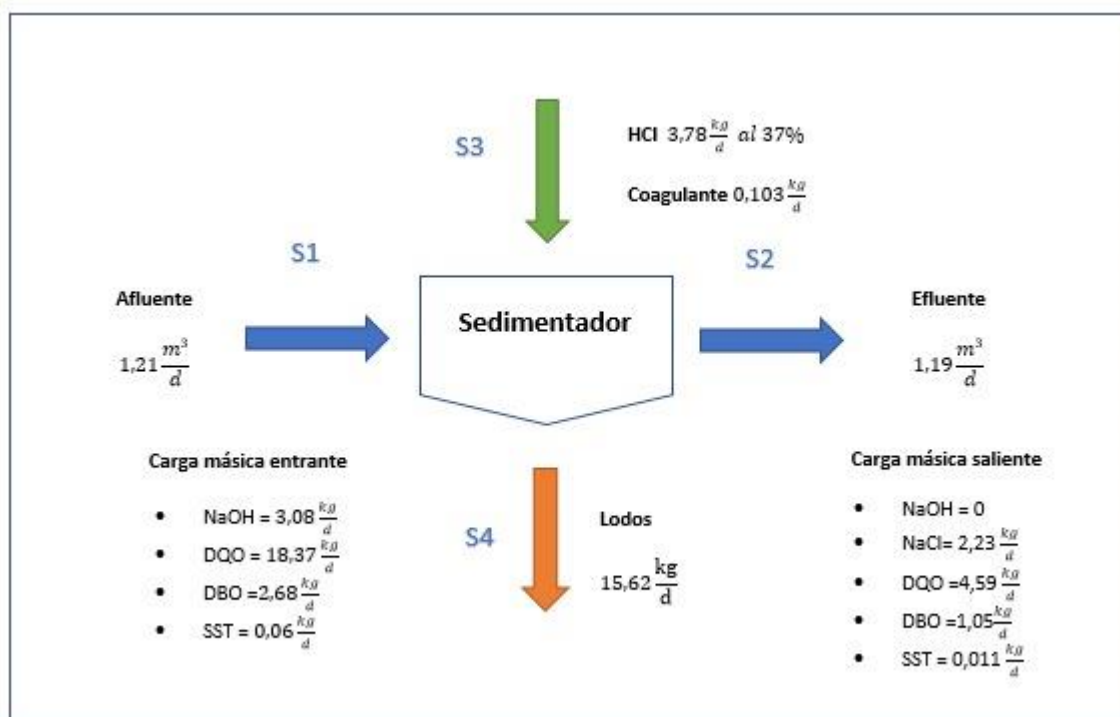


Figura 35: Balance de materia del proceso de neutralización/sedimentación.

Los cálculos para estimar la cantidad de ácido clorhídrico y cloruro férrico, además de la cantidad de lodos generados y agua que sale del sistema en este proceso, se exponen a continuación:

6.4.1. Ácido clorhídrico para la neutralización

Los cálculos para estimar la cantidad de ácido clorhídrico para la neutralización de las aguas de tratamiento se exponen a continuación:

a) Cálculo de concentración de hidróxido de sodio

Durante la producción de aceitunas de mesa la cantidad de hidróxido de sodio empleada en la etapa de sodificación varía según cada agricultor o agricultora, además, esta medida cambia en cada proceso de elaboración. Asimismo, el sistema de tratamiento incluye las aguas generadas en la etapa de lavado, donde la concentración de hidróxido de sodio en el efluente es variable. En consecuencia, no es posible conocer en exactitud la concentración de hidróxido de sodio de las aguas, sin embargo, sí es posible conocer el valor de pH, donde según datos obtenidos en terreno, tiene un valor promedio de 12,5.

A partir de las siguientes ecuaciones de reacción ácido-base se realizan los siguientes cálculos:

$$pH + pOH = 14 \quad (6.10)$$

$$pOH = -\log [OH^-] \quad (6.11)$$

Reemplazando el pH en la ecuación (6.10) obtenemos:

$$12,5 + pOH = 14$$

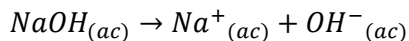
$$pOH = 1,5$$

Reemplazando pOH en la ecuación (6.11) obtenemos:

$$1,5 = -\log [OH^-] \text{ /antilog}$$

$$0,0316 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = [OH^-]$$

Dado que el hidróxido de sodio es una base fuerte, se disocia completamente en sus iones constituyentes en solución acuosa:



Esta ecuación nos dice que cada mol de NaOH produce un mol de OH^- en solución acuosa, de manera que tenemos la siguiente relación:

$$[NaOH] = [OH^-]$$

Por lo tanto, la concentración de hidróxido de sodio es de 0,0316 mol/L.

$$[NaOH] = 0,0316 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

b) Cálculo de concentración de ácido clorhídrico

La relación estequiométrica de la reacción química es de 1:1, es decir, se necesita la misma cantidad de moles de hidróxido de sodio y de ácido clorhídrico para llevar a cabo la reacción de neutralización, de manera que tenemos la siguiente relación:

$$\text{moles de NaOH} = \text{moles de HCl}$$

$$[NaOH] = [HCl]$$

Por lo tanto, la concentración de ácido clorhídrico es de 0,0316 mol/L.

$$[HCl] = 0,0316 \frac{mol}{L}$$

c) Cálculo de masa de ácido clorhídrico

Conociendo los datos de concentración y masa molar del soluto, además del volumen de la solución, se puede calcular la masa necesaria de ácido clorhídrico para la reacción de neutralización, tal como se señala en la siguiente ecuación:

$$M = [soluto] \times V \times MM \quad (6.12)$$

Donde:

M = Masa de HCl (g)

[soluto] = concentración molar del soluto $\left(\frac{mol}{L}\right)$

V= Volumen de la solución (L)

M= Masa molar del soluto $\left(\frac{g}{mol}\right)$

Reemplazando los datos en la ecuación (6.12) obtenemos:

$$\begin{aligned} \text{Masa de HCL} &= 0,0316 \frac{mol}{L} \times 1.210L \times 36,5 \frac{g}{mol} \\ &= 1.395,6g \end{aligned}$$

El cálculo de masa se expresa a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Masa de HCl}_{37\%} &= \frac{1,40 \text{ kg de HCl puro} \times 100 \text{ kg HCl}_{37\%}}{37 \text{ kg HCl puro}} \\ &= 3,78 \text{ kg} \end{aligned}$$

Por lo tanto, para neutralizar 1.210L de aguas residuales generadas en la producción de aceituna, se necesita 3,78 kg de ácido clorhídrico al 37%.

d) Cálculo de volumen de ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico en venta comercial es un líquido, por lo tanto, se debe calcular la cantidad en volumen necesaria para la reacción de neutralización diaria. Lo anterior se obtiene a partir de la ecuación (6.9).

Reemplazando datos de masa recién calculados y la densidad del ácido clorhídrico al 37%, que es de 1.190 g/L en la ecuación (6.9) tenemos:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{3,780 \frac{\text{g}}{\text{d}}}{1,190 \frac{\text{g}}{\text{L}}} \\ &= 3,18 \frac{\text{L}}{\text{d}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, es necesario 3,18 L/d de ácido clorhídrico al 37% (densidad=1.190 g/L) para realizar la reacción de neutralización.

6.4.2. Consumo de coagulante

A partir de la recopilación bibliográfica Achack *et al.* (2019), se estableció como coagulante a utilizar el cloruro férrico (FeCl_3), el cual presenta buenos porcentajes de remoción respecto a otros coagulantes en aguas residuales de almazara, además su funcionamiento óptimo se sitúa en pH 7, el cual coincide con el pH que tendrán las aguas luego de neutralización.

Para efectos de obtener el balance se utilizará el consumo de coagulante en un equipo sedimentación, según un estudio de efluentes de lagunas de estabilización (Gómez, 2005) es de 85mg/L de cloruro férrico a pH óptimo de coagulación igual a 7,0. El cálculo de la masa se expresa a continuación:

$$C = \frac{M}{V} \quad (6.13)$$

Dónde:

C= Concentración $\left(\frac{kg}{L}\right)$

M= Masa $\left(\frac{kg}{d}\right)$

V = Volumen del agua de tratamiento diario $\left(\frac{L}{d}\right)$

Reemplazando los datos en la ecuación (6.13) obtenemos:

$$\begin{aligned} M &= 85 \frac{mg}{L} \times \frac{1kg}{1.000.000mg} \times 1.210 \frac{L}{d} \\ &= 0,103 \frac{kg}{d} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el equipo de sedimentación consume 0,103 kg/d de cloruro férrico para la coagulación.

6.4.3. Generación de cloruro de sodio en la neutralización

Tal como se mencionó anteriormente, la relación estequiometría de la reacción química es de 1:1, es decir, la cantidad de moles de los productos es la misma que la de los reactivos. Por lo tanto, tenemos la siguiente relación:

$$\text{moles de NaOH} = \text{moles de NaCl}$$

$$[NaOH] = [NaCl]$$

Por lo tanto, la concentración de cloruro de sodio es de 0,0316 mol/L.

$$[NaCl] = 0,0316 \frac{mol}{L}$$

Luego para calcular la masa de cloruro de sodio, reemplazamos los datos en la ecuación (6.12)

$$\begin{aligned} \text{Masa de NaCl} &= 0,0316 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 1.210\text{L} \times 58,44 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \\ &= \mathbf{2.234,5g} \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el proceso de neutralización, en 1.210L de agua tratada se genera 2.234,5g de cloruro de sodio.

6.4.4. Carga másica removida

En el sistema de neutralización/sedimentación los porcentajes de remoción de contaminantes son: para NaOH 100%, DQO 75%, DBO 61%, SST 81%, estos porcentajes fueron obtenidos de los estudios de Gómez (2005), Carrasco (2007) y Achack *et al.* (2019). A partir de estos tres estudios se establecieron rangos de remoción y se ocuparon los valores medios de estos rangos para efectuar los cálculos.

Los valores para DQO, DBO y SST son los mismos del flujo de salida del sistema de flotación DOF.

La carga másica removida se obtiene mediante la ecuación (6.7), dónde los cálculos se exponen a continuación:

$$\begin{aligned} CM_{r_{NaOH}} &= 3,05 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 1 \\ &= \mathbf{3,05 \frac{kg}{d}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CM_{r_{DQO}} &= 18,37 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 0,75 \\ &= \mathbf{13,78 \frac{kg}{d}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CM_{r_{DBO}} &= 2,68 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 0,61 \\ &= \mathbf{1,63 \frac{kg}{d}} \end{aligned}$$

$$CM_{rSST} = 0,06 \frac{kg}{d} \times 0,81$$

$$= 0,049 \frac{kg}{d}$$

6.4.5. Masa de lodo removida

En un sistema de sedimentación la masa de lodos corresponde a los SST, DQO y DBO removida. Los cálculos para estimar la cantidad de masa se exponen a continuación:

- SST

De acuerdo al cálculo de carga másica removida, se tiene 0,049 kg de sólidos al día, sin embargo, los lodos también están conformados por un alto porcentaje de agua, el cual tiene un valor de 76,14% (Ortiz *et al.*, 1995).

$$Lodos \left[\begin{array}{l} \text{Sólidos} = 23,86\% \\ \text{Líquido} = 76,14\% \end{array} \right]$$

$$Masa_{lodos SST} = \frac{0,049 \frac{kg}{d}}{0,2386}$$

$$= 0,21 \frac{kg}{d}$$

Por lo tanto, la masa total de lodos SST es de 0,21 kg/d.

- Masa de lodos total

$$Masa_{lodos} = Masa_{SST} + Masa_{DQO} + Masa_{DBO}$$

$$= 0,21 \frac{kg}{d} + 13,78 \frac{kg}{d} + 1,63 \frac{kg}{d}$$

$$= 15,62 \frac{kg}{d}$$

6.4.6. Balance de materia

Según la ecuación (6.4), el balance de materia en el sistema de sedimentación se expone a continuación:

$$\begin{aligned}S1 + S3 &= S2 + S4 \\S2 &= S1 + S3 - S4 \\S2 &= 1.205 \frac{kg}{d} + 3,78 \frac{kg}{d} + 0,103 \frac{kg}{d} - 15,62 \frac{kg}{d} \\&= 1.193 \frac{kg}{d}\end{aligned}$$

Por lo tanto, la masa que sale del sistema es de 1.193kg/d.

6.4.7. Agua que sale del sistema

El caudal de agua que sale del sistema se obtiene mediante la ecuación (6.9), reemplazando los datos se obtiene:

$$\begin{aligned}Q &= \frac{1.193 \frac{kg}{d}}{1.000 \frac{kg}{m^3}} \\&= 1,19 \frac{m^3}{d}\end{aligned}$$

Por lo tanto, el caudal de salida del sistema de sedimentación es de 1,19 m³/d.

6.5. Sistema de filtración

En un sistema de filtración según el estudio Bernal *et al.* (2011) a partir de sus resultados y en comparación con otros autores, el filtro de carbón activado tiene los porcentajes de remoción más altos, este comportamiento es debido a que el filtro de carbón activado es un adsorbente que reduce la materia orgánica por su área superficial.

En un sistema de filtración de carbón activado la tecnología de adsorción es altamente eficiente, alcanzando remociones del orden de 95-99%, no consume reactivos y se generan residuos cuando la superficie disponible del carbón se llena de químicos y debe limpiarse o reemplazarse.

Los flujos de entrada y salida del proceso de filtración se presentan en la Figura 36.

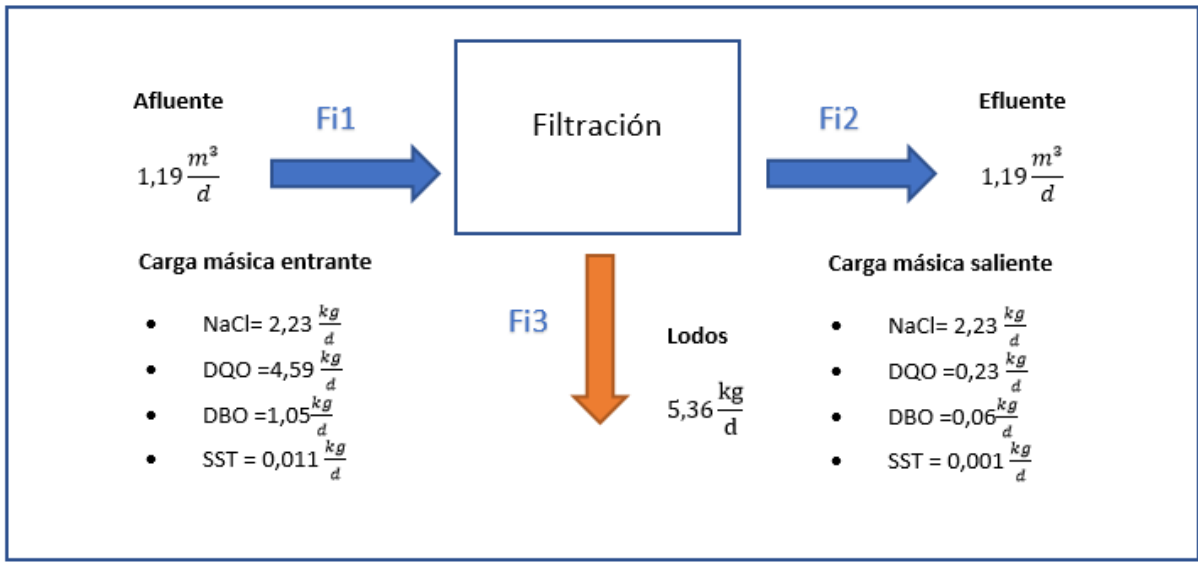


Figura 36: Balance de materia del proceso de filtración.

Los cálculos para estimar la cantidad de carga mássica removida para el sistema de filtración, se exponen a continuación:

6.5.1. Carga mássica removida

La carga mássica removida se obtiene mediante la ecuación (6.7), los cálculos se exponen a continuación:

$$CM_{rDQO} = 4,59 \frac{kg}{d} \times 0,95$$

$$= 4,36 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{rDBO} = 1,05 \frac{kg}{d} \times 0,95$$

$$= 0,99 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{rSST} = 0,011 \frac{kg}{d} \times 0,95$$

$$= 0,01 \frac{kg}{d}$$

6.5.2. Masa de lodo removida

En un sistema de filtración la masa de lodos corresponde a los SST, DQO y DBO removida. Los cálculos para estimar la cantidad de masa total se exponen a continuación

- Masa de lodos total

$$\begin{aligned} \text{Masa}_{\text{lodos}} &= \text{Masa}_{\text{SST}} + \text{Masa}_{\text{DQO}} + \text{Masa}_{\text{DBO}} \\ &= 0,01 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 4,36 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 0,99 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \\ &= 5,36 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \end{aligned}$$

6.5.3. Balance de materia sistema de filtración

Según la ecuación (6.4), el balance de materia en el sistema de filtración se expone a continuación:

$$\begin{aligned} Fi1 - Fi3 &= Fi2 \\ 1.193 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 5,36 \frac{\text{kg}}{\text{d}} &= Fi2 \\ &= 1.187,64 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el sistema de filtración con carbón activado, la masa de salida es de 1.187,64kg/d.

6.5.4. Agua que sale del sistema

El caudal de agua que sale del sistema se obtiene mediante la ecuación (6.9). Reemplazando los datos se obtiene:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1.187,64 \frac{\text{kg}}{\text{d}}}{1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \\ &= 1,19 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \end{aligned}$$

Por lo tanto, el caudal de salida del sistema de filtración es de $1,19 \text{ m}^3/\text{d}$.

6.6. Sistema de ósmosis inversa

En un sistema de desalinización utilizando la tecnología de ósmosis inversa es posible remover sales como fosfato, nitrato, iones metálicos, durezas, patógenos, turbidez, compuestos orgánicos sintéticos, pesticidas y la mayoría de los contaminantes del agua conocidos.

La remoción para parámetros presentes en las aguas de tratamiento es de: 99% de SST, 99% color, 100% de DBO y 99% de mercurio (Fundación Chile, 2010), 93% de DQO y 100% de turbiedad (Ruiz, 2019), 97,4% de cloruro de sodio y 97,7% contenido de sólidos totales en el agua (Mora *et al.*, 2007).

El porcentaje de rechazo es de un 50%, donde la mitad del agua tratada es apta para uso de riego, sin embargo, el volumen de salmuera generada es significativo, por lo tanto, se propone recircular el agua de rechazo (salmuera) en varios ciclos, hasta que la concentración de sal sea mayor a la permitida para el correcto funcionamiento del equipo.

En el sistema de ósmosis inversa los flujos de entrada y salida del proceso se presentan en la Figura 37.

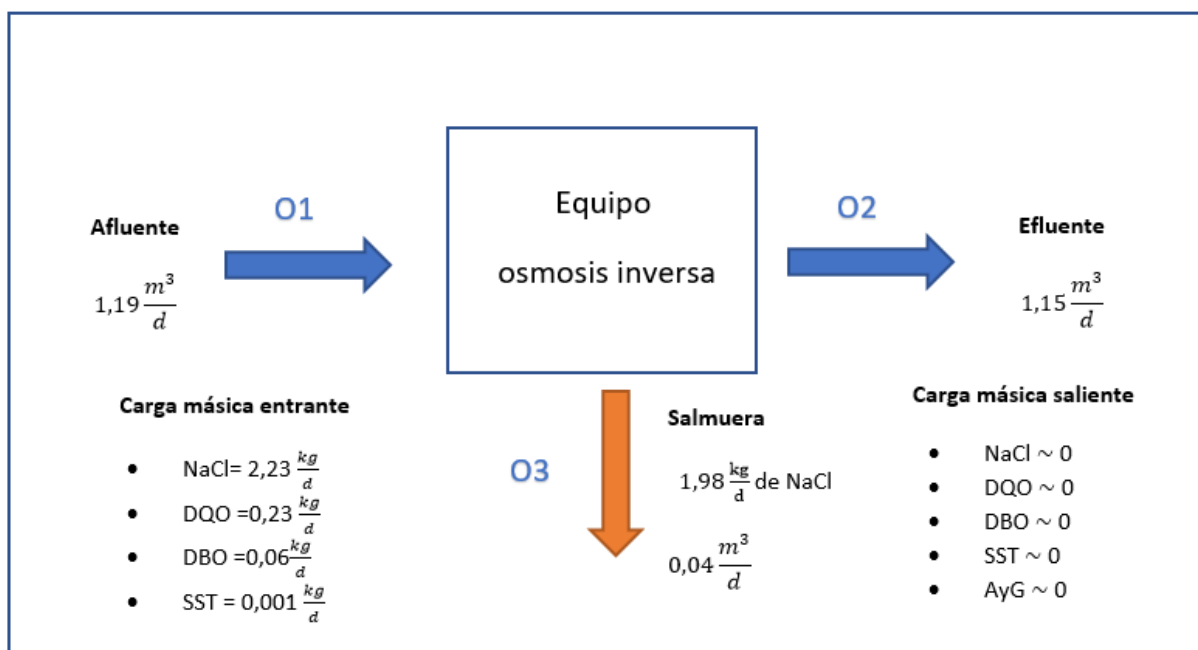


Figura 37: Balance de materia en el equipo de ósmosis inversa.

Los cálculos para estimar la carga másica removida, la generación de salmuera y la producción de agua apta para uso de riego se exponen a continuación:

6.6.1. Carga másica removida

La carga másica removida se obtiene mediante la ecuación (6.7), los cálculos se exponen a continuación:

$$CM_{r_{NaCl}} = 2,23 \frac{kg}{d} \times 0,977$$

$$= 2,18 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{r_{DQO}} = 0,23 \frac{kg}{d} \times 0,93$$

$$= 0,21 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{r_{DBO}} = 0,06 \frac{kg}{d} \times 1$$

$$= 0,06 \frac{kg}{d}$$

$$CM_{r_{SST}} = 0,001 \frac{kg}{d} \times 0,99$$

$$= 9,9 \times 10^{-4} \frac{kg}{d}$$

6.6.2. Remoción de elementos químicos en ósmosis inversa

En el equipo de osmosis inversa también se realizará la remoción de los elementos químicos nombrados en la Tabla 13, que son parte de los requisitos establecidos en la Norma Chilena N°1333 de 1987, para que estas aguas, luego de salir del sistema de tratamiento, puedan ser utilizadas en riego. Los datos presentados en la Tabla 13 son solo teóricos, que se dan en procesos de preparación de aceitunas de mesa, pero tienen generalmente procesos distintos y el agua utilizada también puede tener distintas características, a la que trabajan los y las productoras de la zona, así como difícilmente las aguas utilizadas por los mismos presenten esos elementos en las cantidades estipuladas. En caso de que estos se presenten, como ya se mencionó, serán removidos en la operación de osmosis inversa y los porcentajes de remoción serán, para calcio y magnesio de un 94-98%, para nitratos en 60- 75% y iones

de cloruro 87-93% (Neira, 2006). En el caso del cobre, muchos autores investigaron la eficiencia del proceso de ósmosis inversa para la remoción de este elemento y encontraron que se logró una alta eficiencia de separación dentro de un rango entre el 70 y el 99,9% (Al-Saydeha *et al.*, 2017). Según Pirsahab *et al.* (2014) la remoción para zinc comprenderá en un 61,5% y finalmente para potasio el rango de remoción comprenderá en un 64,43-84,71% (Gołub & Piekutin, 2020).

Se considera la remoción de calcio, magnesio y potasio, puesto que en la normativa el sodio se presenta de manera porcentual y corresponde a la relación del ion sodio y la suma de las concentraciones de los iones sodio, calcio, magnesio y potasio.

6.6.3. Producción de salmuera

Un equipo de desalinización por ósmosis inversa genera un rechazo de del orden de 40 al 70% del total de agua salobre (Grueso *et al.*, 2019). Los cálculos para estimar la salmuera generada se exponen a continuación:

$$Salmuera = \frac{\%r \times V}{100} \quad (6.14)$$

Donde:

Salmuera: Cantidad de salmuera generada $\left(\frac{m^3}{d}\right)$

%r: Porcentaje de rechazo del equipo de osmosis inversa

V: Volumen de agua que ingresa al equipo de osmosis inversa diario $\left(\frac{m^3}{d}\right)$

Reemplazando los datos en la ecuación (6.14) y asumiendo que en este caso de estudio el porcentaje de rechazo es de 50%, tenemos:

$$\begin{aligned} Salmuera &= \frac{50 \times 1,19 \frac{m^3}{d}}{100} \\ &= 0,595 \frac{m^3}{d} \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el proceso de desalinización mediante osmosis inversa se genera 0,595m³/d de salmuera.

6.6.4. Ciclos de recirculación de salmuera

Los ciclos de recirculación de salmuera es una propuesta para obtener un mayor volumen de agua apta para uso de riego, y además disminuir la cantidad de agua de rechazo generada.

El número de ciclos a realizar depende de la concentración máxima permitida de sal en el equipo de osmosis inversa, en este caso es de 35g/L.

Primero se calcula la concentración de sal en la salmuera. Si esta es menor a 35g/L puede recircular en el equipo de osmosis inversa. Los cálculos se exponen a continuación:

- Ciclo 1

Según los datos obtenidos anteriormente, durante el primer ciclo se generan 595L/d de agua de rechazo con 2,18 Kg de NaCl, por lo tanto, reemplazando en la ecuación (6.13) se obtiene la concentración de salmuera, donde:

$$C = \frac{2,180 \frac{g}{d}}{595 \frac{L}{d}}$$
$$= 3,66 \frac{g}{L}$$

Por lo tanto, la concentración de salmuera en el ciclo 1 es de 3,66g/L y como es menor a 35g/L, se puede realizar otro ciclo de recirculación.

- Ciclo 2

Ingresa al equipo de osmosis inversa la salmuera generada en el ciclo 1.

La carga masa removida de sal en el equipo de osmosis inversa se determina mediante la ecuación (6.7) donde:

$$CM_{rNaCl} = 2,18 \frac{kg}{d} \times 0,977$$
$$= 2,13 \frac{kg}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 2 se remueve 2,13Kg/d de sal.

La cantidad de salmuera generada se determina mediante la ecuación (6.14), donde:

$$\begin{aligned} \text{Salmuera} &= \frac{50 \times 595 \frac{L}{d}}{100} \\ &= 297,5 \frac{L}{d} \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el ciclo 2 se generan 297,5 L/d de salmuera.

La concentración de la salmuera se determina mediante la ecuación (6.13), donde:

$$\begin{aligned} C &= \frac{2.130 \frac{g}{d}}{297,5 \frac{L}{d}} \\ &= 7,16 \frac{g}{L} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la concentración de salmuera en el ciclo 2 es de 7,16 g/L, y como es menor a 35 g/L, se puede realizar otro ciclo de recirculación.

- Ciclo 3

Ingresa al equipo de osmosis inversa la salmuera generada en el ciclo 2.

La carga másica removida de sal en el equipo de osmosis inversa se determina mediante la ecuación (6.7) donde:

$$\begin{aligned} CM_{rNaCl} &= 2,13 \frac{kg}{d} \times 0,977 \\ &= 2,08 \frac{kg}{d} \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el ciclo 3 se remueve 2,08Kg/d de sal.

La cantidad de salmuera generada se determina mediante la ecuación (6.14), donde:

$$\begin{aligned} \text{Salmuera} &= \frac{50 \times 297,5 \frac{L}{d}}{100} \\ &= 148,75 \frac{L}{d} \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el ciclo 3 se generan 148,75L/d de salmuera.

La concentración de la salmuera se determina mediante la ecuación (6.13), donde:

$$\begin{aligned} C &= \frac{2.080 \frac{g}{d}}{148,75 \frac{L}{d}} \\ &= 13,98 \frac{g}{L} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la concentración de salmuera en el ciclo 3 es de 13,98 g/L, y como es menor a 35g/L, se puede realizar otro ciclo de recirculación.

- Ciclo 4

Ingresa al equipo de osmosis inversa la salmuera generada en el ciclo 3.

La carga masa removida de sal en el equipo de osmosis inversa se determina mediante la ecuación (6.7) donde:

$$\begin{aligned} CM_{rNaCl} &= 2,08 \frac{kg}{d} \times 0,977 \\ &= 2,03 \frac{kg}{d} \end{aligned}$$

Por lo tanto, en el ciclo 4 se remueve 2,03Kg/d de sal.

La cantidad de salmuera generada se determina mediante la ecuación (6.14), donde:

$$\text{Salmuera} = \frac{50 \times 148,75 \frac{L}{d}}{100}$$

$$= 74,38 \frac{L}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 4 se generan 74,38L/d de salmuera.

La concentración de la salmuera se determina mediante la ecuación (6.13), donde:

$$C = \frac{2.030 \frac{g}{d}}{74,38 \frac{L}{d}}$$

$$= 27,29 \frac{g}{L}$$

Por lo tanto, la concentración de salmuera en el ciclo 4 es de 27,29g/L, y como es menor a 35g/L, se puede realizar otro ciclo de recirculación.

- Ciclo 5

Ingresa al equipo de osmosis inversa la salmuera generada en el ciclo 4.

La masa removida de sal en el equipo de osmosis inversa se determina mediante la ecuación (6.7) donde:

$$CM_{rNaCl} = 2,03 \frac{kg}{d} \times 0,977$$

$$= 1,98 \frac{kg}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 5 se remueve 1,98Kg/d de sal.

La cantidad de salmuera generada se determina mediante la ecuación (6.14), donde:

$$Salmuera = \frac{50 \times 74,38 \frac{L}{d}}{100}$$

$$= 37,19 \frac{L}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 5 se generan 37,19L/d de salmuera.

La concentración de la salmuera se determina mediante la ecuación (6.13), donde:

$$C = \frac{1.980 \frac{g}{d}}{37,19 \frac{L}{d}}$$

$$= 53,24 \frac{g}{L}$$

Por lo tanto, la concentración de salmuera en el ciclo 5 es de 53,24g/L, y como es mayor a 35g/L, no se puede realizar otro ciclo de recirculación.

En síntesis, en el proceso de recirculación de salmuera, es posible realizar hasta 4 ciclos de recirculación, donde la cantidad de agua de rechazo final es de 37,19L/d con una concentración de 53,24g/L.

6.6.5. Estimación de cantidad de agua apta para uso de riego

A partir del porcentaje de rendimiento del equipo de osmosis inversa y la cantidad de agua que entra al proceso, se puede calcular la cantidad de agua generada apta para uso de riego.

$$Agua\ para\ riego = \frac{(100 - \%r) \times V}{100} \quad (6.15)$$

Donde:

Agua para riego: Cantidad generada de agua apta para uso de riego en $\left(\frac{m^3}{d}\right)$

%r: Porcentaje de rechazo del equipo de osmosis inversa

V: Volumen de agua que ingresa al equipo de osmosis inversa $\left(\frac{m^3}{d}\right)$

Los cálculos se exponen a continuación para cada ciclo de uso del equipo de osmosis inversa:

Reemplazando los datos en la ecuación (6.15), obtenemos:

- Ciclo 1

$$Agua\ para\ riego = \frac{(100 - 50) \times 1,19 \frac{m^3}{d}}{100}$$

$$= 0,595 \frac{m^3}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 1 se generan 0,595m³/d de agua apta para uso de riego.

- Ciclo 2

$$\textit{Agua para riego} = \frac{(100 - 50) \times 0,595 \frac{m^3}{d}}{100}$$

$$= 0,297 \frac{m^3}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 2 se generan 0,297m³/d de agua apta para uso de riego.

- Ciclo 3

$$\textit{Agua para riego} = \frac{(100 - 50) \times 0,297 \frac{m^3}{d}}{100}$$

$$= 0,148 \frac{m^3}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 3 se generan 0,148 m³/d de agua apta para uso de riego.

- Ciclo 4

$$\textit{Agua para riego} = \frac{(100 - 50) \times 0,148 \frac{m^3}{d}}{100}$$

$$= 0,074 \frac{m^3}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 5 se generan 0,074m³/d de agua apta para uso de riego.

- Ciclo 5

$$\text{Agua para riego} = \frac{(100 - 50) \times 0,074 \frac{m^3}{d}}{100}$$

$$= 0,037 \frac{m^3}{d}$$

Por lo tanto, en el ciclo 5 se generan 0,037m³/d de agua apta para uso de riego

- **Cantidad total de agua apta para uso de riego**

El volumen total de agua apta para uso de riego es la suma del agua generada en cada ciclo de tratamiento del equipo de osmosis inversa tiene un volumen final de 1,15m³/d.

Por lo tanto, el equipo de osmosis inversa a partir de 1,19 m³/d puede generar 1,15m³/d de agua apta para uso de riego.

6.7. Balance general

La Figura 38 muestra el balance general del sistema de tratamiento, donde a partir de 1,2m³/d de aguas generadas en la producción de aceitunas, se puede obtener 1,15m³/d de agua apta para uso de riego.

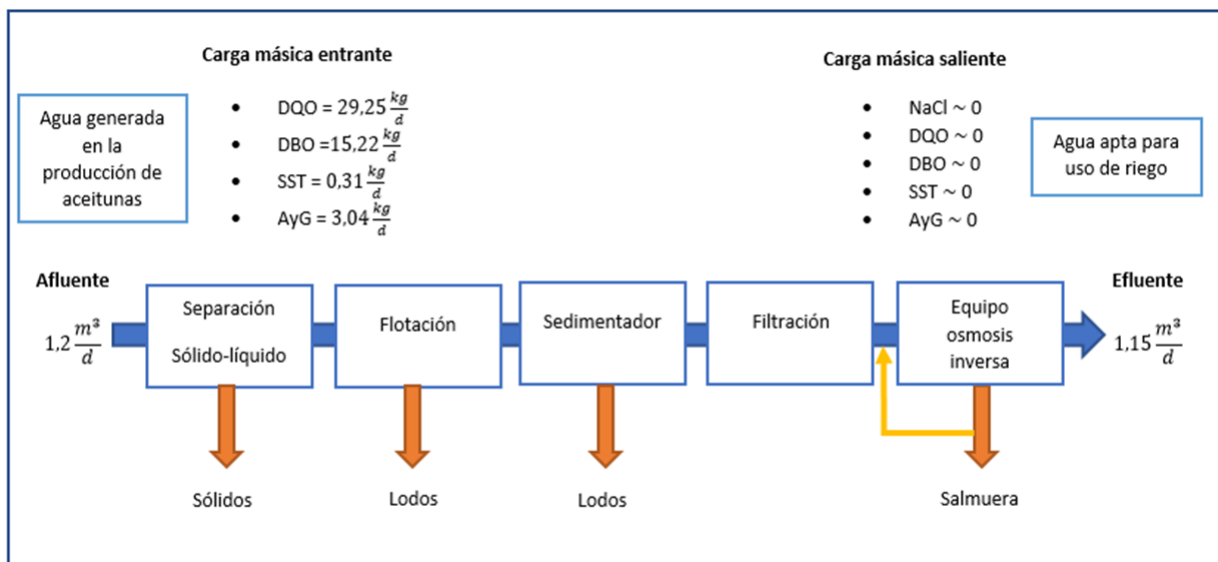


Figura 38: Balance general del sistema de tratamiento

7. BALANCE DE ENERGÍA

En el presente Capítulo se estima la potencia mínima requerida por la bomba N°1, la potencia requerida de cada equipo y la cantidad de energía total consumida en el sistema de tratamiento propuesto.

La Tabla 14 muestra la potencia requerida y la energía consumida diaria del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 14: Potencias y energía diaria consumida por el sistema de tratamiento.

Equipo	Potencia Unitaria (W)	Horas por día (h)	Energía diaria $\left(AC \frac{Wh}{d} \right)$	Energía diaria más margen de seguridad del 20%
Bomba 1	88,06	0,3	26,42	31,70
Equipo de flotación	1.500	1	1.500	1.800
Equipo de osmosis inversa	2.000	4,6	9.200	11.040
Total	3.588,06	-	10.726,42	12.871,70

Nota: Los datos corresponden al consumo medio diario de la instalación, a la cual se ha aplicado un 20% como margen de seguridad recomendado.

7.1. Bombas

Las ecuaciones 7.1 a 7.6 se obtuvieron según Mataix (1986), las que serán utilizadas a continuación.

La potencia mínima requerida para el funcionamiento de una bomba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = Q \times \rho \times g \times H \quad (7.1)$$

Donde:

P = Potencia requerida por una bomba

Q = Caudal del flujo

ρ = Densidad del flujo

H = Altura útil o efectiva de una bomba

g = Gravedad

La altura útil o efectiva de una bomba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + H_{ra} + H_{ri} + \frac{v_t^2}{2g} \quad (7.2)$$

Donde:

H_{ra} = Pérdida en la aspiración

H_{ri} = Pérdida en la tubería de impulsión

v_t = Velocidad en la tubería de impulsión

v = Velocidad

z = Altura en los puntos 1 y 2

P = Presión en los puntos 1 y 2

Las pérdidas totales incluyen las pérdidas en la aspiración y las pérdidas en la tubería de impulsión, se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$H_r = \lambda \frac{(L + \sum L_{eq})}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (7.3)$$

Donde:

λ = Coeficiente de Moody

$\sum L_{eq}$ = longitud equivalente de accesorios

L = Longitud total tramos rectos tubería

D = Diámetro de la tubería

El coeficiente de Moody es función de dos variables: el número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa.

El número de Reynolds se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R_e = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \quad (7.4)$$

Donde:

μ = Viscosidad del agua

El caudal de flujo que impulsa la bomba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = A \times v \quad (7.5)$$

Donde:

A = Área de la tubería

El área de una tubería se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = 0,25 \times \pi \times D^2 \quad (7.6)$$

La Figura 39 muestra un esquema con las dimensiones y materiales propuestos de la conducción del fluido desde el estanque de almacenamiento N°1 hacia el equipo de flotación.

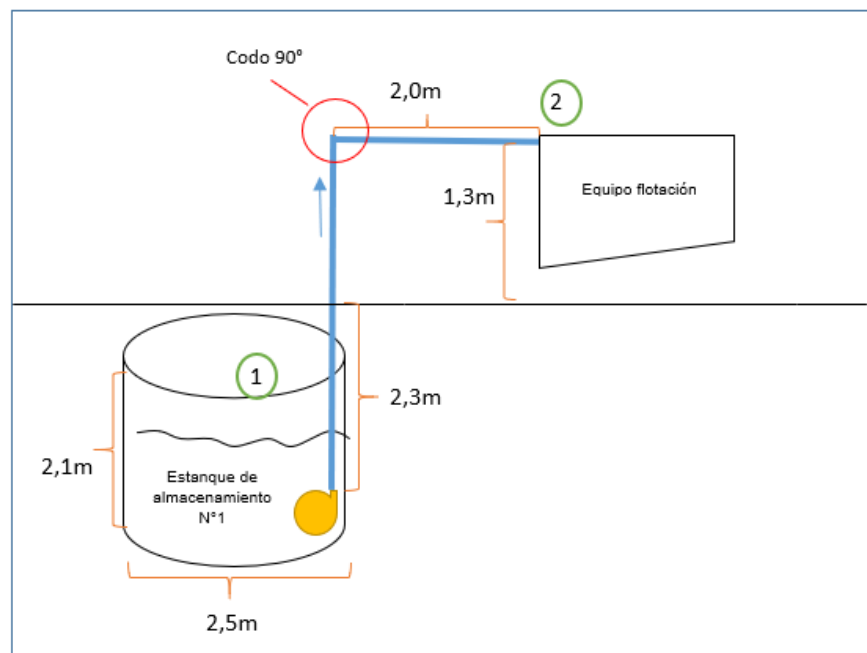


Figura 39: Esquema de dimensiones y materiales propuestos de la conducción del fluido desde el estanque de almacenamiento N°1 hacia el equipo de flotación.

Los cálculos para estimar la potencia requerida de la bomba se exponen a continuación:

Datos a considerar:

- La medida de la tubería desde la salida de la bomba hasta la superficie es de 2,3m
- El largo total de la tubería es de 5,6m
- La velocidad recomendada para tubería de impulsión (v_t) es entre 1 y 3 m/s (Se elige 2m/s)
- El diámetro de la tubería de la bomba es de 0,025m
- La densidad del fluido es de 1.000kg/m³
- La viscosidad del fluido es de 1,31*10⁻³ kg/ms
- La rugosidad relativa para PVC es de 0,000005
- La presión en el punto 1 y punto 2 es igual a presión atmosférica
- Se identifica como accesorios un codo de 90° en la unión de las tuberías y una reducción de entrada en la bomba.
- La altura desde la bomba hasta el punto 2 es de 3,6m
- El factor de eficiencia recomendado de la bomba es de 60%

Primero se calcula el caudal del flujo mediante la ecuación (7.5)

$$Q = 2 \frac{m}{s} \times 0,25 \times \pi \times 0,025^2 m^2$$

$$Q = 9,83 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Por lo tanto, el caudal que impulsa la bomba es de 9,83*10⁻⁴ m³/s.

A partir del caudal se calcula la velocidad en el punto 1 y punto 2

- *Velocidad punto 1*

El área se calcula a partir del diámetro interno del estanque de almacenamiento N°1 mediante la ecuación (7.6)

$$A = 0,25 \times \pi \times 2,5^2 m^2$$

$$A = 4,9 m^2$$

Reemplazando en la ecuación (7.5)

$$v_1 = \frac{9,83 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{4,9m^2}$$

$$v_1 = 2,0 * 10^{-4} \frac{m}{s}$$

Por lo tanto, la velocidad en el punto 1 es de $2,0 * 10^{-4} \text{ m/s}$.

- *Velocidad punto 2*

El área se calcula a partir del diámetro interno de la tubería de salida, mediante la ecuación (7.6)

$$A = 0,25 \times \pi \times 0,025^2 m^2$$

$$A = 4,9 * 10^{-4} m^2$$

Reemplazando en la ecuación (7.5)

$$v_2 = \frac{9,83 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{4,9 * 10^{-4} m^2}$$

$$v_2 = 2,0 \frac{m}{s}$$

Por lo tanto, la velocidad en el punto 2 es de $2,0 \text{ m/s}$.

Luego se calcula las pérdidas totales en la aspiración y en la tubería de impulsión. Para eso, primero se calcula el número de Reynolds mediante la ecuación (7.4), reemplazando los datos tenemos:

$$R_e = \frac{0,025m \times 2 \frac{m}{s} \times 1.000 \frac{kg}{m^3}}{1,31 * 10^{-3} \frac{kg}{ms}}$$

$$R_e = 38.167,9$$

Como $R_e > 10.000$ se dice que el fluido a través de la tubería presenta régimen turbulento y mediante el diagrama de Moody, considerando $R_e = 38.167,9$ y rugosidad relativa=0,000005, se estima que el valor de coeficiente de Moody es de $\lambda = 0,023$

- Pérdidas en la aspiración (H_{ra})
- No hay tubería recta en la succión de la bomba, por lo que: $L = 0$ m
- $\sum L_{eq}$ se estima a partir del Nomograma de pérdida de carga secundaria de la firma Gould Pumps, U.S.A. en accesorios de tubería para agua: 1 reducción de entrada = 1,6 m, por lo tanto:

$$\sum L_{eq} = 1,6m$$

Reemplazando los datos en la ecuación (7.3) se obtiene:

$$H_{ra} = 0,023 \frac{(0m + 1,6m)}{0,025m} \times \frac{2^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_{ra} = 0,3m$$

Por lo tanto, la pérdida en la aspiración es de 0,3 m

- Pérdidas en la tubería de impulsión (H_{ri})
- $L = 5,6$ m
- $\sum L_{eq}$ se estima a partir del Nomograma de pérdida de carga secundaria de la firma Gould Pumps, U.S.A. en accesorios de tubería para agua: 1 codo=0,7m, por lo tanto:

$$\sum L_{eq} = 0,7m$$

Reemplazando los datos en la ecuación (7.3) se obtiene:

$$H_{ri} = 0,023 \frac{(5,6m + 0,7m)}{0,025m} \times \frac{2^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$H_{ri} = 1,18m$$

Por lo tanto, la pérdida en la tubería de impulsión es de 1,18m.

Finalmente se calcula la altura útil o efectiva de una bomba, reemplazando los datos en la ecuación (7.2) se obtiene:

$$H = \frac{P_{atm} - P_{atm}}{1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2}} + 3,6m - 0 + \frac{\left(2,0 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(2,0 * 10^{-4} \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} + 0,3m + 1,18m + \frac{\left(2,0 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$H = 5,48m$$

Por lo tanto, la altura útil o efectiva de la bomba es de 5,48m.

Por último, se calcula la potencia mínima requerida por la bomba, reemplazando los datos en la ecuación (7.1) se obtiene:

$$P = 9,83 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 5,48m$$

$$P = 52,84W$$

Como el factor de eficiencia de la bomba es de 60%, entonces:

$$P = \frac{52,84W}{0,6}$$

$$P = 88,06W$$

Por lo tanto, para trasladar el fluido desde el estanque de almacenamiento N°1 hacia el equipo de flotación, se requiere una bomba de potencia mínima 88,06 W; es decir con una bomba de 0,118 hp logra el objetivo.

7.1.1. Tiempo de uso diario

El tiempo de uso diario se calcula relacionando el caudal que impulsa la bomba con el volumen de agua que debe trasladarse, mediante la siguiente ecuación:

$$T_d = \frac{V}{Q} \quad (7.7)$$

Donde:

V= Volumen de agua

Q= Caudal impulsa la bomba

Reemplazando los datos en la ecuación (7.7) se obtiene:

$$T_d = \frac{1,2m^3}{9,83 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}$$

$$T_d = 1.221s = 0,3h$$

Por lo tanto, se estima que el tiempo de uso diario de la bomba es de 0,3 h aproximadamente.

7.2. Equipos

El sistema está compuesto por dos equipos eléctricos para el tratamiento de agua, la potencia requerida para cada uno se detalla a continuación:

7.2.1. Equipo de flotación (DOF)

El equipo de flotación tiene una potencia de 1,5kW, y se estima que el tiempo de uso diario es de 1,2h.

7.2.2. Equipo ósmosis inversa

El equipo de osmosis inversa tiene una potencia de 2kW, y se estima que el tiempo de uso diario es de 4,6h.

8. DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

En el presente Capítulo, se presenta una propuesta para el diseño, estimación y selección de equipos para el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento, el cual se puede visualizar en el esquema representado de la Figura 40.

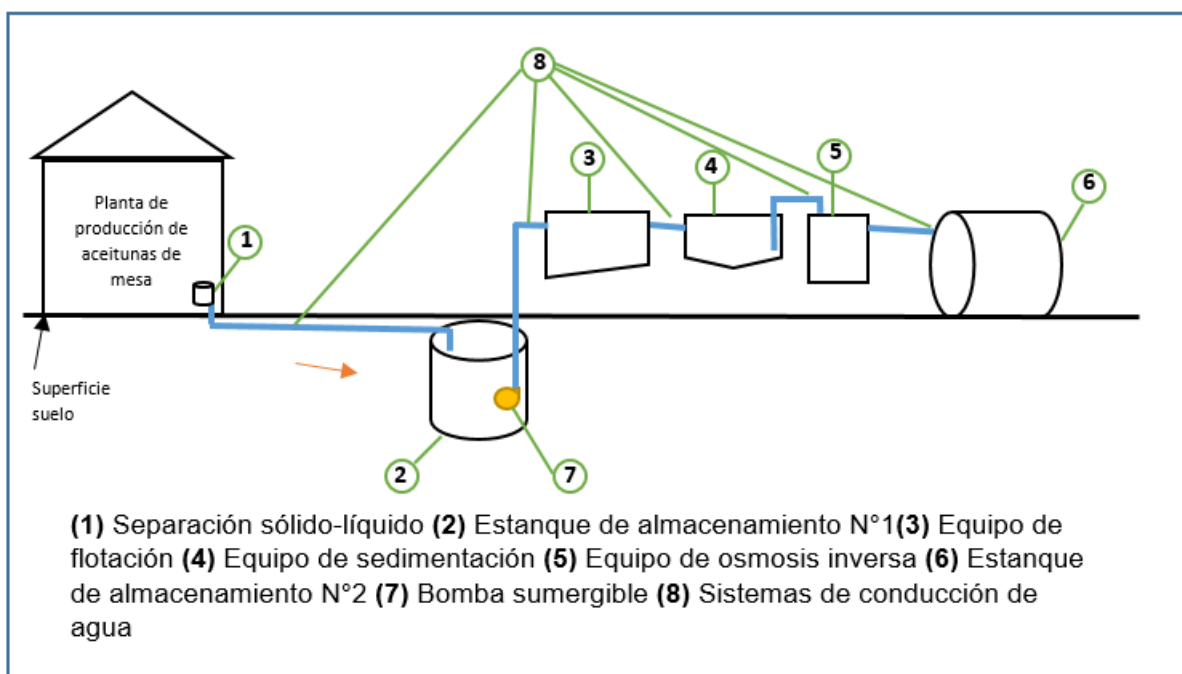


Figura 40: Esquema del sistema de tratamientos de aguas.

El sistema de tratamiento tiene capacidad de tratar técnicamente 1.200L al día y el tiempo diario estimado de funcionamiento total del sistema es de 7h.

La propuesta para las dimensiones, materiales y equipos se detallan a continuación:

8.1. Sistema separación sólido-líquido

La separación sólido-líquido está compuesta principalmente por una malla, que tiene como objetivo separar los sólidos gruesos. Se propone instalarlo en la planta de producción de aceitunas de mesa, tal como se muestra en la Figura 41. La malla se instala en la parte superior del estanque de almacenamiento, el cual en la parte inferior tiene una llave que una vez abierta traslada el fluido a través de unas tuberías hacia el sistema de tratamiento.

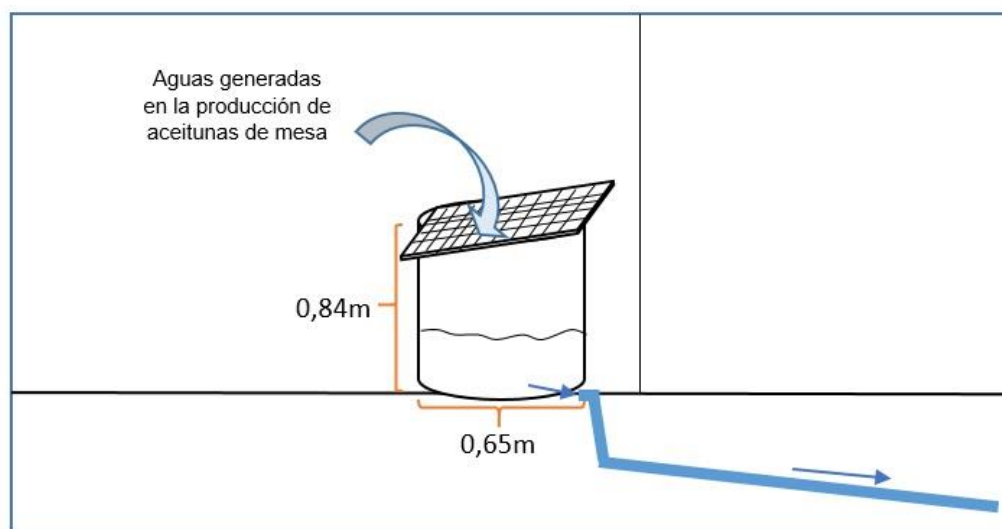


Figura 41: Esquema sistema separación sólido-líquido.

La Tabla 15 muestra los materiales necesarios para la construcción del sistema de separación sólido-líquido.

Tabla 15: Materiales y equipos sistema de separación sólido-líquido.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Estanque vertical 200L		Medidas: altura 0,84m, diámetro 0,65m. Especificaciones: diseño cónico con manto liso. Recomendaciones: debe ser instalado sobre una base plana nivelada sin piedras ni imperfecciones.
Malla separación sólido-líquido		Malla con una superficie galvanizada cuyo objetivo es evitar procesos de oxidación y corrosión. Material: alambre galvanizado

Conducción efluente producido en la planta de producción

Las aguas generadas en la producción de aceitunas de mesa, una vez que pasan por el sistema de separación sólido-líquido, mediante tuberías son trasladadas al estanque de almacenamiento N°1, tal como se muestra en la Figura 42. La tubería traslada el fluido mediante gravedad, por lo que se recomienda instalarla con una inclinación del 1%.

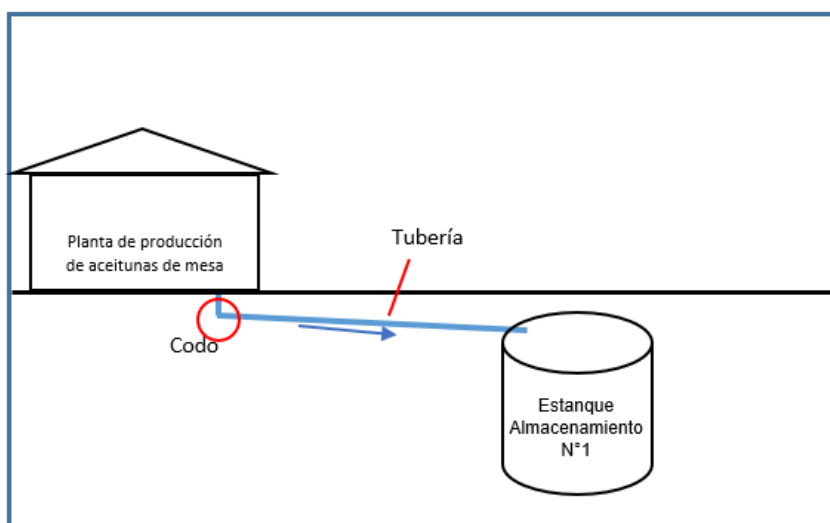


Figura 42: Conducción efluente producido en la planta de producción hacia estanque de almacenamiento N°1.

La Tabla 16 muestra los materiales necesarios para la conducción del efluente producido desde la planta de producción hacia el estanque de almacenamiento N°1.

Tabla 16: Materiales conducción de efluente hacia estanque de almacenamiento N°1.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Tubo PVC 75mm		Tubo PVC para conducción de aguas Diámetro:75mm
Codo PVC 87,5°		Codo PVC para acople de tuberías Diámetro:75mm

8.2. Estanque de almacenamiento N°1

El volumen del estanque de almacenamiento está dado por la cantidad de aguas generadas semanalmente en una producción de aceitunas de mesa a pequeña escala, el cual corresponde a aproximadamente 8.400 L. Por lo que se decide instalar un tanque de 10.000 L.

El estanque vertical tiene uso de almacenamiento de aguas, para posteriormente mediante una bomba sumergida trasladar el fluido hacia el equipo de flotación DOF.

Las dimensiones sugeridas para el lugar de instalación del estanque se muestran en la Figura 43.

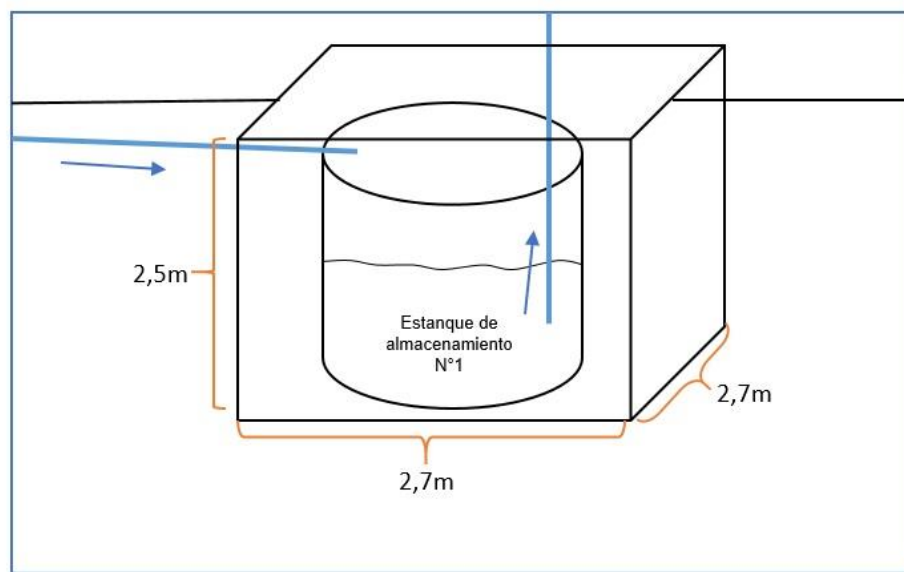


Figura 43: Dimensiones para lugar de instalación del estanque de almacenamiento N°1.

La Tabla 17 muestra los materiales necesarios para el estanque de almacenamiento.

Tabla 17: Materiales para el estanque de almacenamiento.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Estanque vertical 10.000L		Medidas: altura 2,1m, diámetro 2,5m. Especificaciones: diseño cilíndrico con manto ondulado. Recomendaciones: debe ser instalado sobre una base plana nivelada sin piedras ni imperfecciones, debe soportar el peso total del estanque.

Conducción efluente estanque de almacenamiento N°1

Para trasladar las aguas desde el estanque de almacenamiento N°1 hacia el equipo de flotación DOF se debe instalar una bomba sumergible que bombea el agua a través de tuberías, tal como se muestra en la Figura 44.

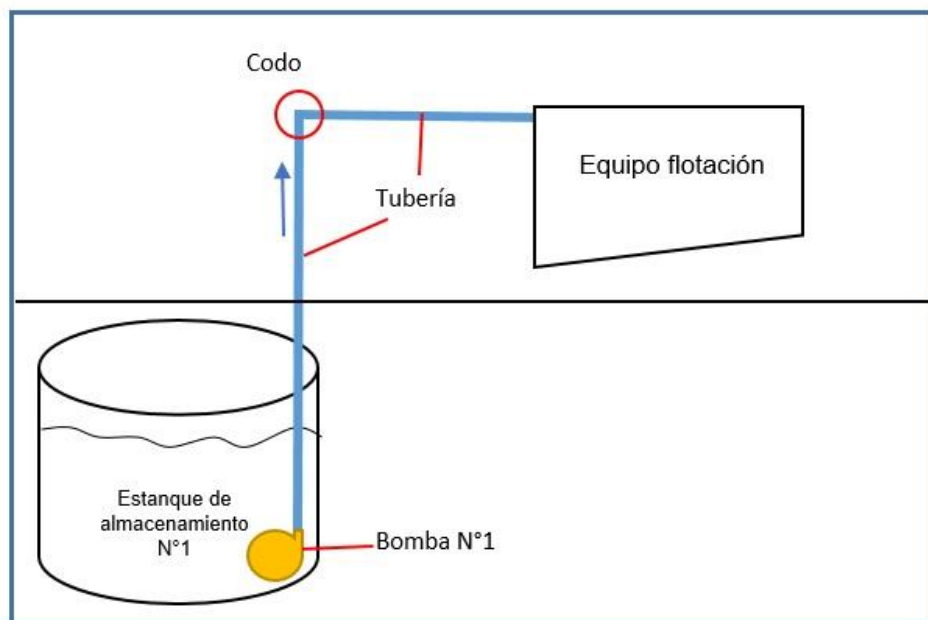
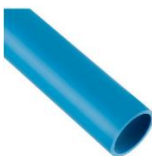


Figura 44: Conducción efluente estanque de almacenamiento N°1 hacia el sistema de flotación DOF.

La Tabla 18 muestra los materiales y equipos necesarios para la conducción de las aguas hacia el equipo de flotación.

Tabla 18: Materiales y equipos conducción de efluente hacia equipo de flotación.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Tubo PVC 25mm		Tubo de PVC para montar instalaciones hidráulicas. Diámetro: 25mm.
Codo PVC 90° 25mm		Codo PVC para acople de tuberías. Diámetro: 25mm.
Bomba sumergible		Bomba sumergible 0,3HP. Bombeo de agua, caudal máximo 97L/h. Presión máxima 0,5bar.

8.3. Equipo de flotación

Un equipo de flotación por ozono disuelto (DOF) es una variación de un equipo de flotación DAF, donde se utiliza burbujas o microburbujas de ozono en vez de aire. En el mercado es poco usual encontrar un equipo de flotación DOF, es por esto, que se instala un equipo de flotación DAF y se agrega un generador de ozono para el correcto funcionamiento. La Figura 45 muestra un esquema del sistema de flotación DOF.

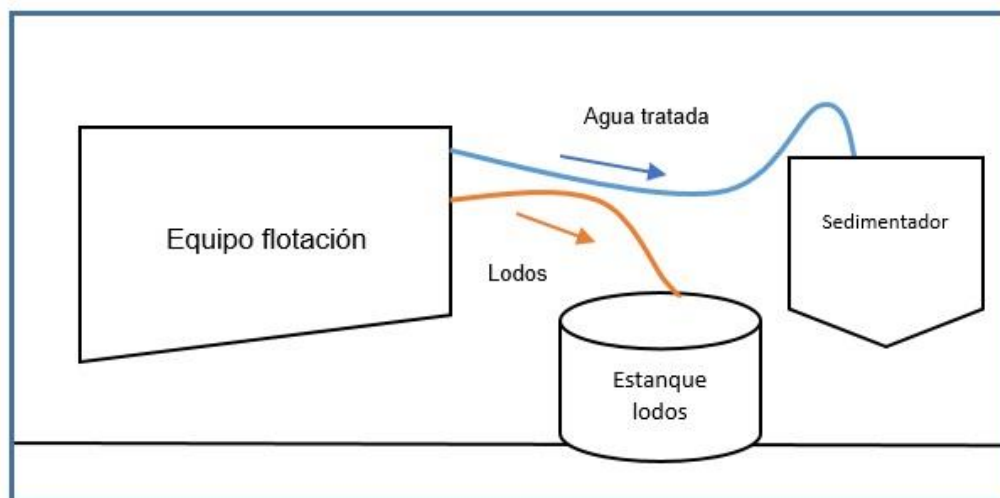


Figura 45: Esquema sistema de DOF.

La Tabla 19 muestra los materiales y equipos necesarios para el equipo de flotación DOF.

Tabla 19: Materiales y Equipos para sistema de flotación DOF.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Equipo de flotación DAF		Unidad de flotación de aire disuelto. Material: acero inoxidable. Potencia: 1,5KW. Capacidad: 2.000L/h. Marca: Yosun. Medidas: largo 3,4m, ancho 2,2m, alto 1,5m.
Generador de ozono		Generador de micro nano burbujas de ozono para adherir al equipo de flotación DAF. Potencia: 0.5KW. Capacidad: 1m ³ /h.

Continuación tabla 19 .

Estanque de lodos 200L		Medidas: altura 0,84m, diámetro 0,65m. Especificaciones: diseño cónico con manto liso.
---	---	---

Conducción efluente producido en equipo de flotación

El traslado del agua desde el equipo de flotación, es mediante una manguera hacía el equipo de sedimentación, tal como se muestra en la Figura 46.

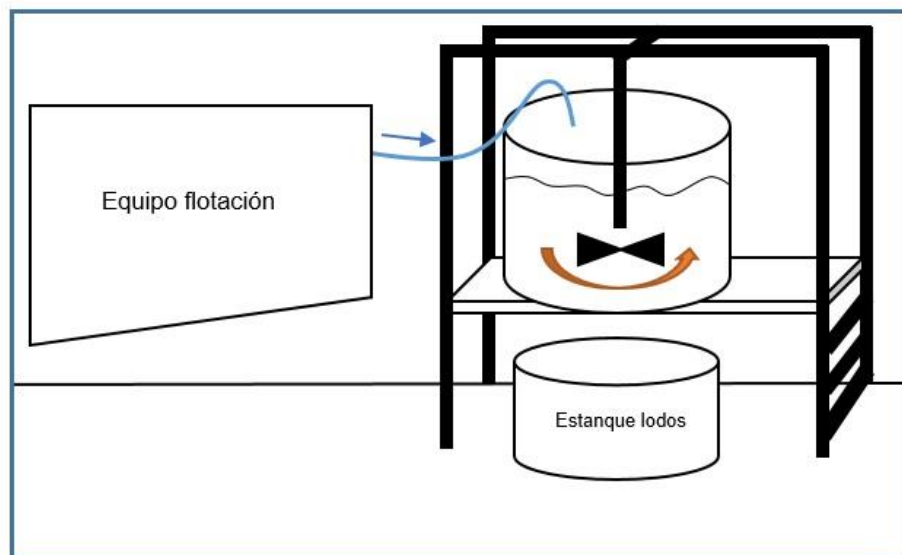


Figura 46: Conducción del efluente producido en equipo de flotación.

8.4. Equipo de sedimentación

En el equipo de sedimentación, ocurre la neutralización, coagulación y sedimentación propiamente tal. Está diseñado para tratar un volumen máximo de 1.200L, el estanque donde se realiza la sedimentación está ubicado en una plataforma, que en la parte inferior tiene un estanque donde se almacenan los lodos generados en el proceso. Además, se debe instalar un aspa que mezcle el fluido cuando se realiza la neutralización y coagulación.

El estanque sedimentador tiene un volumen total de 1.300L, y en la parte inferior posee una válvula que cuando se abre caen por gravedad los lodos generados en el proceso.

Las dimensiones sugeridas para el lugar de instalación del equipo de sedimentación se muestran en la Figura 47.

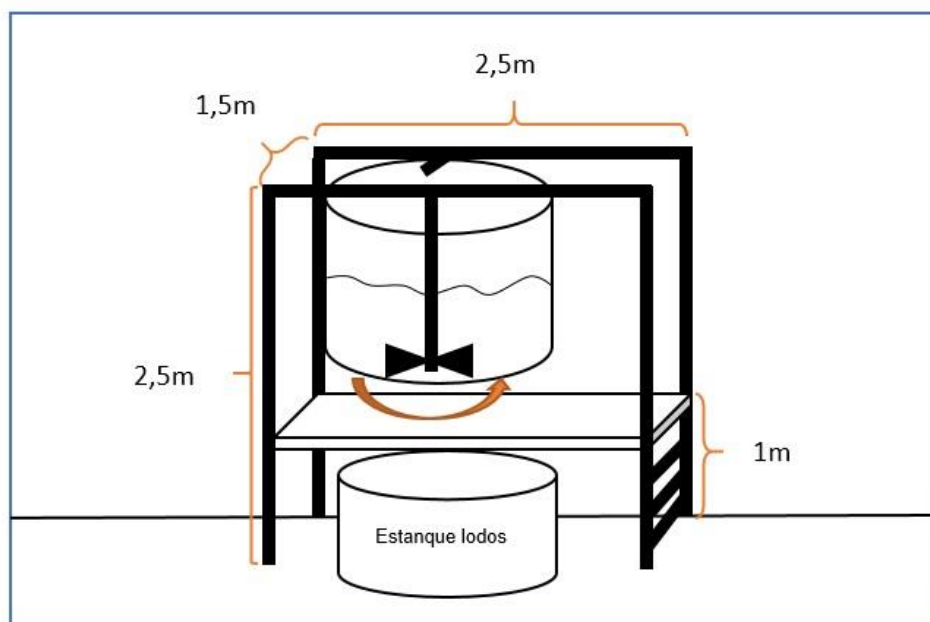


Figura 47: Dimensiones instalación equipo sedimentador.

La Tabla 20 muestra los materiales y equipos necesarios para la neutralización, coagulación y sedimentación en el equipo de sedimentación.

Tabla 20: Materiales y equipos sedimentación.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Estanque vertical 1.300L		Medidas: altura 1,38m, diámetro 1,30m. Especificaciones: diseño cónico con manto liso.

Continuación tabla 20.

Estanque lodos 200L		Medidas: altura 0,84m, diámetro 0,65m. Especificaciones: diseño cónico con manto liso.
Agitador		Agitador en acero inoxidable para estanques.
Ácido clorhídrico		Apariencia: líquido incoloro, levemente amarillo. Densidad: 1.190 g/L, concentrado al 37%.
Cloruro férrico		Apariencia: líquido café oscuro Concentración al 40%.
Medidor de pH		pH metro serie P-310. Resolución: 0,01pH. Duración batería: 100h. Peso: 43g.

Conducción efluente producido en sedimentador

Para trasladar el agua desde el sedimentador, se propone instalar una tubería hacia el equipo de osmosis inversa tal como se muestra en la Figura 48. El fluido es trasladado gracias a una bomba de succión que contiene el mismo equipo de osmosis inversa.

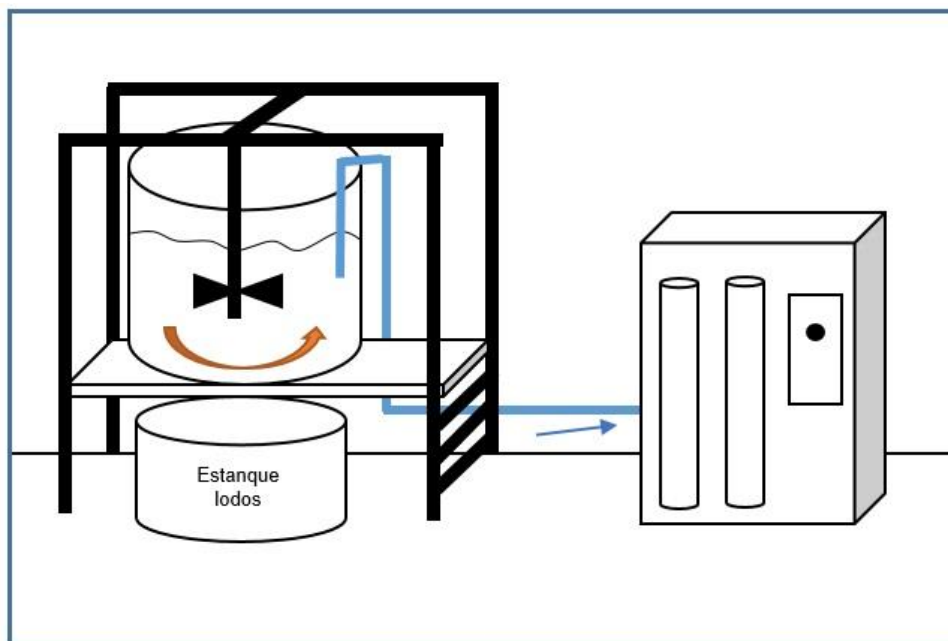


Figura 48: Conducción efluente producido en tanque sedimentador hacia el equipo de osmosis inversa.

La Tabla 21 muestra los materiales y equipos necesarios para la conducción del efluente hacia el equipo de osmosis inversa.

Tabla 21: Materiales conducción de efluente hacia equipo de osmosis inversa.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Tubo PVC 25mm		Tubo de PVC para montar instalaciones hidráulicas. Diámetro: 25mm.
Codo PVC 25mm		Codo PVC para acople de tuberías. Diámetro: 25mm.

8.5. Equipo de ósmosis inversa

En el comercio el equipo de osmosis inversa tiene incluido filtro de carbón activado, filtro de arena y filtro suavizador de agua. Este equipo tiene dos salidas de efluente, una donde sale el agua tratada y de la otra la salmuera. Las dimensiones de la instalación se muestran en la Figura 49.

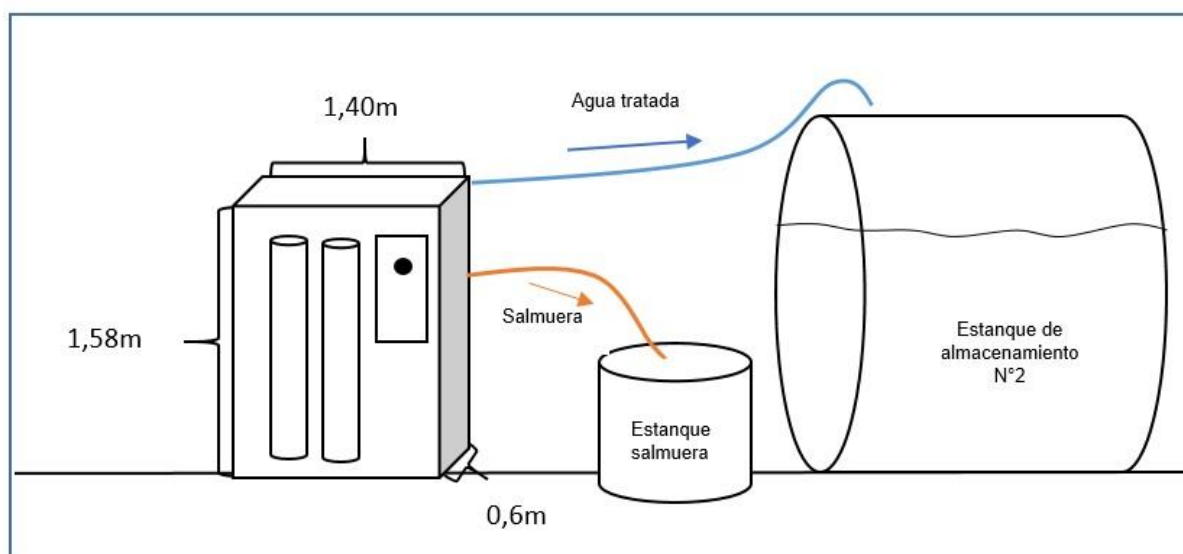


Figura 49: Esquema diseño y dimensiones equipo de osmosis inversa.

La Tabla 22 muestra los materiales y equipos necesarios para la instalación del equipo de ósmosis inversa.

Tabla 22: Materiales y equipos ósmosis inversa.

Equipo / Material	Imagen	Descripción
Equipo ósmosis inversa		Medidas: altura 1,58m, ancho 0,6m, largo 1,4m. Capacidad máxima: 500LPH. Marca: volarda. Peso: 40-100kg. Control: manual automático.
Estanque salmuera 630L		Material: polietileno. Medidas: altura 0.95m, diámetro 1.06m. Recomendaciones: debe ser instalado sobre una base plana nivelada sin piedras ni imperfecciones, debe soportar el peso total del estanque.

Conducción efluente producido en equipo de ósmosis inversa

La Figura 50 muestra la conducción del efluente desde ósmosis inversa, hacia el estanque de almacenamiento N°2.

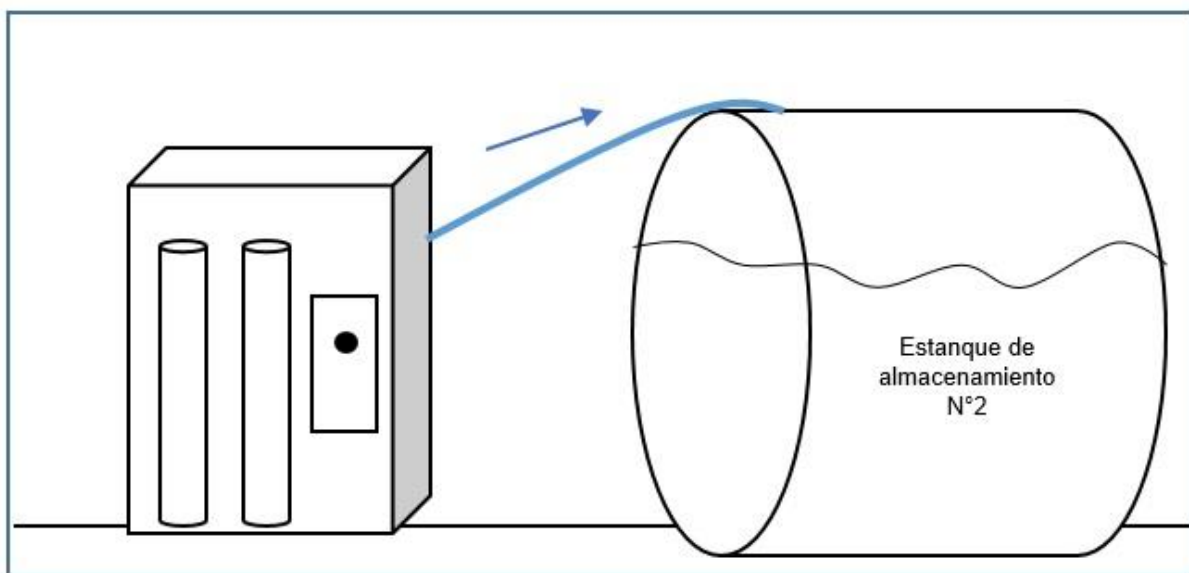


Figura 50: Conducción del efluente producido desde el equipo de ósmosis inversa.

8.6. Estanque de almacenamiento N°2

El estanque de almacenamiento N°2 tiene un volumen de 9.300L para almacenar las aguas tratadas de una semana aproximadamente, en el caso de que el sistema funcione los 7 días a la semana.

La Tabla 23 muestra material del estanque de almacenamiento N°2.

Tabla 23: Material del estanque de almacenamiento N°2.

Material	Imagen	Descripción
Estanque horizontal 9.300L		Volumen: 9.300L. Medidas: altura 1,55m, diámetro 1,4m, largo 6,0m. Recomendaciones: debe ser instalado sobre una base plana nivelada sin piedras ni imperfecciones, debe soportar el peso total del estanque.

8.7. Estanque de almacenamiento de salmuera y lodos

Los estanques de almacenamiento serán utilizados para acumular salmuera y lodos, para su posterior retiro.

La Tabla 24 muestra material del estanque de almacenamiento de salmuera y lodos.

Tabla 24: Material del estanque de acumulación salmuera y lodos

Material	Imagen	Descripción
Estanque vertical abierto 2.000L (Uno para acumulación de salmuera y uno para lodos)		Volumen: 2.000L Medidas: altura 1,3m, diámetro 1,64m Especificaciones: modelo cubicado para mayor control de llenado, calidad reforzada.

9. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

En este Capítulo se propone y muestra cómo se organizará espacialmente la instalación del sistema de tratamiento planteado, como también mencionar las necesidades del sistema en su operación.

9.1. Organización espacial del sistema de tratamiento

En la Figura 51 se propone la organización del sistema de tratamiento, la cual consta de un área de aproximadamente 50m², tomando en consideración el estanque horizontal de almacenamiento. El área propuesta es la adecuada para la instalación de los equipos y sistema de tratamiento completo, sin considerar posibles estructuras que sirvan de protección al sistema.

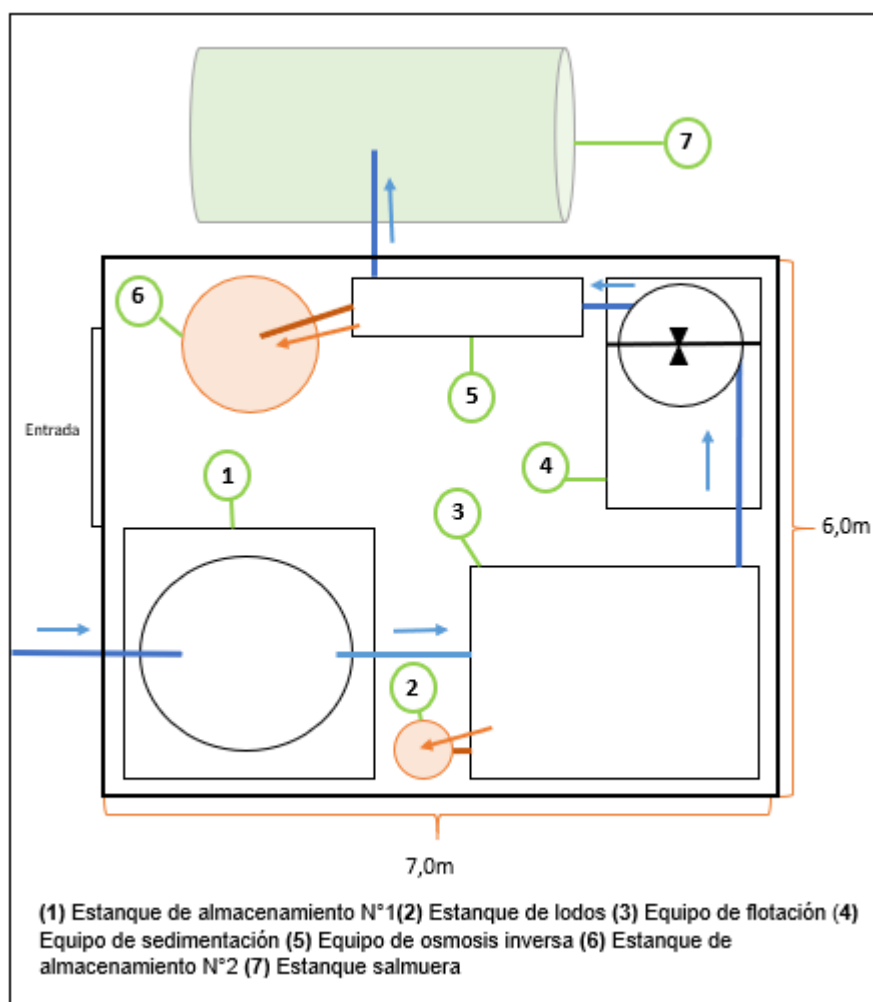


Figura 51: Organización espacial del sistema de tratamiento para aguas residuales de aceituna de mesa.

En la Figura 52, se presenta un modelo propuesto de cómo se podría apreciar la instalación del sistema en un terreno, con el fin de utilizar el agua recuperada para riego de los olivos.

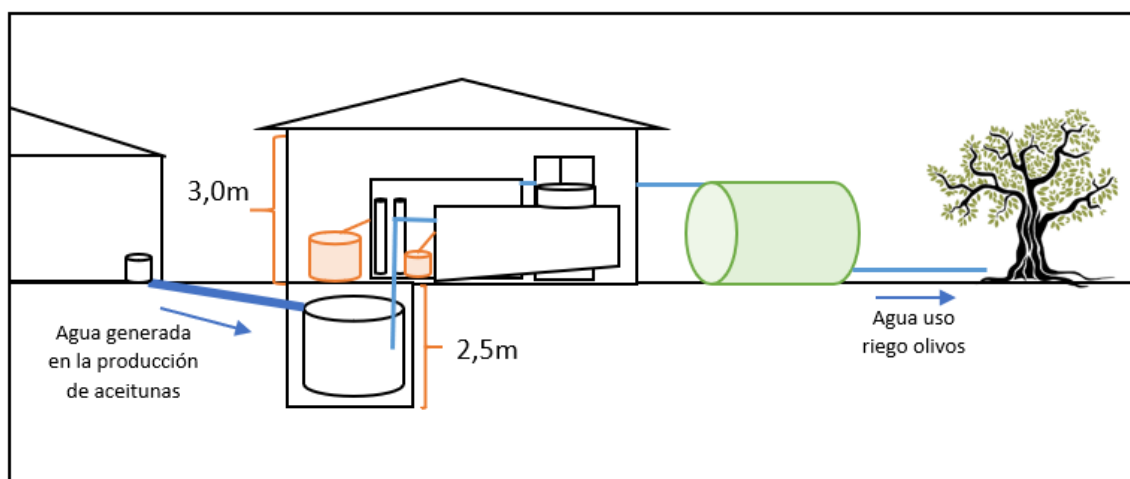


Figura 52: Modelo del sistema de tratamiento propuesto.

9.2. Requerimientos operacionales en el sistema de tratamiento

De acuerdo a las características del sistema de tratamiento propuesto, para el manejo correcto del mismo, se necesita que se supervise el avance de las aguas residuales a través de él, se mantenga y gestione el buen funcionamiento de los recursos materiales del sistema, además de mantener el correcto funcionamiento del sistema operacional.

Cuando las aguas residuales se someten a un proceso de limpieza gradual y entran al sistema, debe existir un encargado de efectuar controles visuales, por ejemplo, de color o para asegurarse de que no haya residuos no deseados.

Al ser un sistema compuesto por un tren de operaciones unitarias, cada una de ellas tiene ciertos requerimientos y mantenimientos en el transcurso de su operación.

9.2.1. Requerimientos etapa separación sólido-líquido

En el caso de la etapa de separación sólido líquido, la malla utilizada será de limpieza manual, la cual requiere que se limpie frecuentemente para evitar obstrucciones. Para esto el operador debe utilizar alguna herramienta dentada como un cepillo o también puede ser una esponja (cualquier instrumento que pueda facilitar su limpieza). El proceso debe ser realizado suavemente para no perjudicar el estado de las celdas de la malla.

9.2.2. Requerimiento y recomendaciones para neutralización, coagulación y sedimentación

En el equipo de sedimentación, será necesario que se mida el pH del agua antes de agregar el ácido clorhídrico (HCl). Posterior a la neutralización con HCl se debe proceder a la etapa de coagulación, donde el cloruro férrico (FeCl_3) será utilizado como coagulante. Sucesivo se debe prender el aspa para distribuir y mezclar de mejor manera el coagulante con el agua y se realice un proceso más eficiente.

Finalizando la coagulación y sedimentación se debe apagar el agitador y proceder a abrir inmediatamente la válvula de descarga del equipo de sedimentación.

Para el uso de ácido clorhídrico y cloruro férrico, los dos clasificados como sustancias corrosivas. El operador que los manipule deberá contar con las siguientes precauciones y elementos de protección personal:

- Evitar contacto e inhalación directa, ya que, pueden causar lesiones graves en los ojos, irritaciones severas en la piel, fuertes irritaciones en las vías respiratorias e irritación fuerte por ingestión.
- Los elementos de protección personal apropiados son: máscara de protección respiratoria con filtro para vapores ácidos aprobada por la NIOSH (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos) o similar, guantes de protección adecuados (caucho, nitrilo) de puño largo, lentes de protección para salpicaduras ajustados al rostro o protector facial, usar ropa resistente a los productos químicos cuando exista posibilidad de entrar en contacto con el material.
- Además, se deben tomar medidas como ventilación adecuada en lugares de trabajo. Se recomienda disponer de ducha y lavador de ojos en dichas zonas.

También se hace recomendable, mantener estos compuestos dentro de sus mismos recipientes de acuerdo a las recomendaciones del proveedor.

9.2.3. Requerimientos en mantenimiento y uso de equipos

En el caso de los equipos de flotación y ósmosis inversa, para la instalación y mantenimiento deberá ser por personal técnico cualificado, además de recibir recomendaciones e indicaciones del proveedor. En cuanto al uso y funcionamiento de estos equipos y el sistema de tratamiento en general, es necesario que la persona que va a operar el sistema periódicamente, reciba una capacitación, para poder asegurar el correcto funcionamiento de los mismos. Esta capacitación puede ser realizada,

mediante cursos pagados, impartidos por universidades (como los que imparte la Universidad de Santiago de Chile, en su departamento ingeniería en obras civiles), asesorías mediante consultoras u obtener capacitaciones realizadas por el gobierno, que ya se han impartido con anterioridad en otras comunas, como en la región del Maule en el año 2014, a través de la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) dentro de sus planes de desarrollo estratégico en su unidad de saneamiento sanitario, otorgando capacitaciones para la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales rurales, agroindustriales e industriales, favoreciendo a cooperativas, comités, juntas de vecino y municipios. Si bien, dependerá de las políticas públicas impulsadas por el gobierno de turno, es una opción viable.

10. ESTUDIO DE COSTOS

En este capítulo se presentará el costo del sistema, considerando el precio de los materiales y equipos necesarios, mantenimiento del mismo y un análisis de costos y ahorros aproximados.

10.1. Costos de materiales y equipos

En la Tabla 25 se presenta el precio de los materiales y equipos necesarios, la cantidad necesaria de cada uno en el sistema y el valor total incluyendo IVA en CLP y UF.

Tabla 25: Análisis de costo de equipos y materiales del sistema completo.

Material/Equipo	Cantidad	Valor total (CLP)	Valor total (UF)
Tramo 1: Desde planta de producción, sistema de cribado a estanque de almacenamiento N°1.			
Estanque vertical estándar polietileno 200L	1	36.590	1,27
Malla separación sólido-líquido	1	6.690	0,23
Tubo PVC 75mm	10m	11.920	0,41
Codo PVC 87,5°	2	1.600	0,055
Costo total tramo 1		56.800	1,97
Tramo 2: Desde estanque de almacenamiento N°1 a Equipo de flotación.			
Estanque vertical polietileno 10.000L	1	726.089	25,18
Tubo PVC 25mm	2m	918	0,032
Codo PVC 90° 25mm	1	130	0,0045
Bomba sumergible 0,33 HP	1	61.000	2,11
Costo total tramo 2		788.137	27,32
Tramo 3: Desde equipo de flotación a sistema de sedimentación.			
Equipo de flotación por aire disuelto (DAF)	1	11.599.500	402,30
Generador de ozono	1	293.854	10,19

Continuación tabla 25 en siguiente página.

Estanque vertical abierto polietileno 200L	1	36.590	1,27
Costo total tramo 3		11.929.944	413,76
<i>Tramo 4: Desde sistema de sedimentación a equipo de osmosis inversa.</i>			
Estanque vertical estándar polietileno 1.300L	1	101.190	3,51
Estanque vertical abierto polietileno 200L	1	36.590	1,27
Agitador de acero inoxidable	1	76.000	2,63
Ácido clorhídrico al 37%	1 (Formato 25 kg)	40.698	1,41
Cloruro férrico al 40%	1 (Formato 25 kg)	24.990	0,87
Medidor de pH	1	49.980	1,73
Tubo PVC 25mm	2m	918	0,032
Codo PVC 25mm	3	390	0,014
Costo total tramo 4		330.756	11,46
<i>Tramo 5: Desde Osmosis inversa a estanque de almacenamiento N°2.</i>			
Equipo de osmosis inversa	1	1.546.600	53,64
Estanque vertical estándar polietileno 630L	1	1.422.359	49,33
Estanque horizontal reforzado polietileno 9.300L	1	63.094	2,19
Costo total tramo 5		3.032.053	105,16
<i>Tramo 6: Estanques de almacenamiento para acumulación</i>			
Estanque vertical abierto polietileno 2.000L (Almacenamiento lodos)	1	134.968	4,68

Continuación tabla 25.

Estanque vertical abierto polietileno 2.000L (Almacenamiento salmuera)	1	134.968	4,68
Costo total tramo 6		269.936	9,36

Nota: Calculado con UF= 28.833,07 y USD=773.30 pesos a la fecha 31 de octubre del 2020 e IVA incluido.

Por lo tanto, el costo total estimado del sistema de tratamiento, será el resultado de la suma de los costos por cada tramo:

$$COSTO\ TOTAL = Costo\ total\ tramo\ 1 + Costo\ total\ tramo\ 2 + Costo\ total\ tramo\ 3 \\ + Costo\ total\ tramo\ 4 + Costo\ total\ tramo\ 5 + costo\ total\ tramo\ 6$$

$$Costo\ total\ (CLP) = 56.800 + 788.137 + 11.929.944 + 330.756 + 3.032.053 + 269.936$$

$$Costo\ total\ (CLP) = 16.407.626$$

$$Costo\ total\ (UF) = 1,97 + 27,32 + 413,76 + 11,46 + 105,16 + 9,36$$

$$Costo\ total\ (UF) = 569,03$$

10.2. Costos asociados a la mantención de materiales y equipos

Los costos asociados a la mantención del sistema de tratamiento serán asociados al posible reemplazo de los materiales en caso que se pueda requerir al pasar ciertos periodos de tiempo.

Dentro de los materiales y equipos, lo más propenso a ser repuesto son el ácido clorhídrico (HCL) y cloruro férrico ($FeCl_3$), así también las membranas del equipo de ósmosis inversa y sus filtros. En cuanto al sistema de cañería, por el material del que están constituidas, tienen una durabilidad de 20 a 100 años siempre y cuando se mantengan en buenas condiciones y con poca exposición a la radiación, asimismo, los estanques de almacenamiento, tienen una vida útil de 20 años, pero si se mantienen bajo techumbre y se evita la exposición al sol, su vida útil en esas condiciones fácilmente se duplica.

Considerando las cantidades necesarias de ácido clorhídrico diarias (3,78kg) para neutralizar 1.210L de agua residual se necesitan 5 ejemplares al mes del nombrado en la Tabla 25 que se presenta en formato de 25kg, en cambio por la cantidad necesaria de cloruro férrico, el que comercialmente se encontró

con una concentración del 40%, sería necesaria una cantidad de 7,35kg al mes lo que implica un recambio cada 3 meses, de acuerdo al formato presentado de 25kg. Los gastos en repuestos de estos compuestos químicos se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26: Gasto generado en repuesto de compuesto químico cada 3 meses.

Material/Equipo	Cantidad	Tiempo de recambio	Valor total (CLP)	Valor total (UF)
Mantenimiento en tramo: Desde sistema de sedimentación a equipo de osmosis inversa				
Ácido clorhídrico al 37%	15	Cada 6 días	610.470	21,17
Cloruro férrico al 40%	1	Cada 3 meses	24.990	0,87
Costo total			635.460	22,04

Nota: Calculado con UF= 28.833,07 pesos a la fecha 31 de octubre del 2020 e IVA incluido.

En cuanto al mantenimiento del equipo de osmosis inversa, algunos componentes como los filtros y membrana, son consumibles, lo que implica que poseen una duración limitada. La duración depende de la calidad del agua, tipo de uso y aspectos puntuales del agua a tratar, como la turbiedad extrema, cloraciones altas, entre otros. Finalmente, con objeto de garantizar la calidad del agua suministrada por el equipo, se debe realizar mantenimiento. Dentro de los mantenimientos recomendados, los filtros se deben aproximadamente a los 12 meses y las membranas cada 3, 5 e incluso hasta 10 años.

El valor de los repuestos del equipo de osmosis inversa se asume que corresponde entre un 10 y un 15% del costo total del equipo (\$1.546.600 CLP), considerando comprar los 3 repuestos al mismo tiempo, ya que, el valor puede aumentar al tener que comprar filtros anualmente. El costo total de los repuestos del equipo de ósmosis inversa se presenta en la Tabla 27.

Tabla 27: Valor repuestos equipo de osmosis inversa asumiendo un 15% del costo total del equipo.

Material/Equipo	Cantidad	Tiempo de recambio	Valor total (CLP)	Valor total (UF)
Mantenimiento equipo osmosis inversa				
Filtros carbón	1	Cada 1 año	231.990	8,04
Filtro arena	1	Cada 1 año		
Membrana	1	Cada 5 años		
Costo total			231.990	8,04

Nota: Calculado con UF= 28.833,07 y USD=773.30 pesos a la fecha 31 de octubre del 2020.

10.3. Costos fijos y posibles ahorros

10.3.1. Compra de agua para riego

El sistema de tratamiento propuesto, como se ha mencionado en capítulos anteriores es un sistema modular que se va a distribuir en el sector de Jahuel, en la comuna de Santa María. Estos pueden ser replicables, multiplicables y adaptados a la necesidad de cada agricultor, principalmente de producción a baja escala.

Mediante información recabada en la zona, un agricultor o agricultora debe generar los siguientes gastos que se detallan en la Tabla 28

Tabla 28: Gastos fijos para producción de aceituna de mesa.

Gasto fijo	Valor en CLP
Compra de agua para riego	30.000 por hora
Retiro de aguas residuales	80.000 por retiro

Un agricultor promedio de la zona considera comprar agua 2 veces por semana, cada compra de 30 a 45 min. El caudal de agua entrante corresponde a 20 L/s, que viene por acequia, desde pozos profundos. Lo que significa que obtiene:

$$\text{Litros de agua por minuto} = 20 \frac{L}{s} \cdot 60 \frac{s}{min}$$

$$\text{Litros de agua por minuto} = 1.200 \frac{L}{min}$$

En 30 minutos un agricultor almacena en sus pozos 36.000 Litros de agua, que luego los distribuye y almacena para riego, mas, se pierde parte de esta agua por el mal estado de estos pozos y tranques, así también, se sigue usando el sistema tradicional de riego, conocido como “riego tendido” el cual es una de las técnicas más ineficientes que existen, perdiendo al menos el 50% del agua por infiltración, evaporación, surcos, acequia, entre otros.

Con esta cantidad de agua utilizada por los agricultores, el ahorro de agua se vuelve poco significativo, ya que, utilizan semanalmente aproximadamente 72.000L de agua y el sistema sólo va a recuperar 34.500L de agua al mes teóricamente. Pero, es importante considerar que los agricultores están comenzando a implementar riego tecnificado, lo que reduce considerablemente el consumo de agua por olivo.

El riego tecnificado implementado corresponde a riego por goteo. Cada gotero utiliza 4 L/h de agua y cada olivo dispone de 6 goteros, es decir se utiliza 24L/h por olivo. De acuerdo a las necesidades del olivo en esa zona en específico, edad de olivo, altura y tipo de suelo, cada olivo requiere en promedio 8 horas de riego a la semana, lo que reduce considerablemente las necesidades de agua para riego.

Por otra parte, la aceituna utilizada es en parte comprada y lista para comenzar el proceso de preparación y otra parte es cosechada por los mismos agricultores en sus predios. En la media, cuentan aproximadamente con 30 olivos, lo que genera una necesidad de 5.760L de agua para riego a la semana y el sistema va a recuperar aproximadamente 8.050L de agua para riego semanalmente. De esta manera, el agua recuperada por el sistema de tratamiento, si generaría un ahorro total en este gasto en específico, incluso generando 2.290L adicionales de agua, que pueden utilizar en riego de sus jardines e incluso para el mismo proceso.

10.3.2. Retiro de aguas residuales

El gasto en retiro de aguas residuales, para ser dispuestos en una planta de tratamiento, sería eliminado por completo, ya que el sistema de tratamiento tiene capacidad para tratar todas las aguas residuales generadas semanalmente. Este retiro se realiza generalmente dos veces por semana, lo que significa un gasto semanal de \$160.000 CLP y mensualmente de \$640.000 CLP.

10.3.3. Retiro lodos y salmuera

Existe un porcentaje de rechazo que corresponde a salmuera del proceso de osmosis inversa, el cual deberá ser retirado al igual que los lodos generados en el proceso de flotación y sedimentación, para

ser llevados a disposición final, por una empresa autorizada, tal como STU (Solución Global de Residuos), quien se hará cargo de su disposición final. Siempre y cuando no se escoja una alternativa para su manejo, en el mismo lugar donde son producidos.

Si estos son retirados, los gastos serán similares, pero las veces de retiro serán menos, en comparación al retiro de aguas residuales actualmente. Estos deberán ser retirados cada dos meses, ya que se acumularán en sus estanques de almacenamiento. Para efectos de estos cálculos y comparado con cotizaciones por la gente de la zona, respecto al retiro de estos residuos, se considera un costo aproximado de \$200.000, por el retiro de cada uno, teniendo un costo aproximado de \$400.000 cada dos meses por el retiro de salmuera y lodos, para disposición final.

10.3.4. Consumo energético

El sistema de tratamiento al ser un sistema modular y considerado como instalación en casa y predios de los mismos agricultores y agricultoras. A fin de obtener los cálculos, se asume que van a ser unidos a la misma red de suministro energético que ya tienen instaladas en sus hogares, conectado a Chilquinta, empresa que abastece de energía en la zona de Jahuel. Sin embargo, se puede buscar la posibilidad de que eventualmente sean sistemas autónomos en abastecimiento de energía eléctrica.

La tarifa utilizada corresponde a BT1A, se trata de una tarifa simple para clientes residenciales. El gasto de energía corresponde a los siguientes equipos nombrados en la Tabla 29, con su consumo mensual correspondiente.

Tabla 29: Consumo mensual en kWh de los equipos del sistema de tratamiento.

Equipo	Potencia (kW)	Uso diario (h)	Días de uso al mes	Consumo mensual (kWh)
Bomba 1	0,08806	0,3	30	0,79254
Equipo de flotación	1,5	1	30	45
Equipo de osmosis de inversa	2	4,6	30	276
Total, consumo mensual				322

El consumo total de los equipos corresponde a 322kWh mensualmente y se le aplican las siguientes tarifas de cobro, las cuales se detallan a continuación en la Tabla 30.

Tabla 30: Cargos del suministro eléctrico.

	Tarifa BT1A	Unidad	Valor
Administración del servicio	Cargo fijo mensual	\$/mes	1.324,39
Total, cargos administración			1.324,39
Coordinación y transporte de electricidad	Cargo por uso del sistema de transmisión	\$/kWh	19,154
	Cargo por servicio público	\$/kWh	0,494
Total, cargos coordinación y transporte			19,648
Electricidad consumida	Cargo por energía	\$/kWh	84,241
	Cargo por compras de potencias	\$/kWh	17,237
	Cargo por potencia base en su componente de distribución/ Tramo 6	\$/kWh	37,38
Total, cargos electricidad consumida			138,858

Nota: Tramo 6 corresponde a consumos mayores a 240 kWh.

El cálculo para obtener el costo total es el siguiente:

Costo total monetario (CLP)

$$\begin{aligned}
 &= \text{total cargos administración} \\
 &+ (\text{total consumo mensual} * \text{total cargos coordinación y transporte}) \\
 &+ (\text{total consumo mensual} * \text{total cargos electricidad consumida})
 \end{aligned}$$

Costo total monetario (CLP)

$$= 1324,39 \frac{\$}{mes} + \left(322 \frac{kWh}{mes} * 19,648 \frac{\$}{kWh} \right) + \left(322 \frac{kWh}{mes} * 138,858 \frac{\$}{kWh} \right)$$

$$Costo\ total\ monetario\ (CLP) = 52.363,3$$

10.4. Análisis de costos y ahorros

Para el siguiente análisis entre los costos del presente en casa de los y las agricultoras y los costos fijos aproximados con la instalación del sistema de tratamiento propuesto, se tomaron en cuenta valores mensuales, por lo tanto, para gastos como retiro de salmuera, retiro de lodos, insumos en productos químicos, que su gasto será cada dos a tres meses respectivamente, se dividió el valor del costo como si fuese mensual. Además, se decidió no incluir los costos de mantención del equipo de osmosis inversa, debido a que no son gastos fijos mensuales. En la Tabla 31, se muestra un detalle de del análisis.

Tabla 31: Análisis costos sin sistema de tratamiento y con sistema de tratamiento.

	Costo mensual (CLP)	Costo mensual (UF)
<i>Costos fijos sin sistema de tratamiento</i>		
Compra de agua para riego	120.000	4.16
Retiro de aguas residuales	640.000	22.19
Costo total	760.000	26.35
<i>Costos fijos con sistema de tratamiento</i>		
Retiro de lodos	100.000	3.47
Retiro salmuera	100.000	3.47
Gasto en consumo energético	52.363,3	1.82
Insumos productos químicos	211.820	7.34
Costo total	464.183,3	16.1

Ahorro total en gastos fijos mensuales

= costo total fijo sin sistema de tratamiento

– costo fijo sin sistema de tratamiento

Ahorro total en gastos fijos mensuales (CLP) = 760.000 – 464.183,3 = 295.816,7

Ahorro total en gastos fijos mensuales (UF) = 26.35 – 16.1 = 10.25

11. DISCUSIÓN

Considerando que en el presente trabajo se abordó únicamente el tratamiento de las aguas residuales de los procesos de sodificación y lavados, en función de la propia naturaleza del proceso productivo artesanal que llevan a cabo los y las agricultoras de Jahuel, es que al momento de revisar información bibliográfica para diseñar el sistema, se encontró que: (i) hasta la actualidad, la información existente disponible respecto al tratamiento de las aguas residuales del proceso productivo de la aceituna de mesa, abarca el tratamiento de los efluentes del proceso productivo industrial en vez del artesanal, es decir, de la mezcla de las aguas una vez realizados los procesos de sodificación, lavados, fermentación y envasado; (ii) no fue posible contar con información que abordara de manera eficaz el diseño de un sistema de tratamiento de aguas para la aceituna de mesa que considerara - dentro de lo posible - las condiciones bajo las cuales se enmarca el presente estudio y (iii) los parámetros físico-químicos de las aguas residuales de la producción de aceite de oliva son muy similares a los parámetros de las aguas de interés a tratar. Es por lo anterior que, el diseño del sistema de tratamiento se realizó tomando los mejores datos disponibles y aplicables al caso de estudio y extrapolando, en parte, las tecnologías utilizadas para el tratamiento de los efluentes de la producción de aceite de oliva.

Debido a las particulares concentraciones de DBO y DQO de las aguas residuales de interés a tratar – con valores característicos alrededor de los 25.000 y 13.000 mg/L, respectivamente - se hizo necesario diseñar un método que las disminuyera para que la calidad de los efluentes cumpliera con lo establecido en la legislación vigente, ya que con las tecnologías convencionales utilizadas en ese momento no era posible. Es así que, teniendo como antecedente que dentro de los métodos más eficientes para la disminución de dichos parámetros, se encuentran los métodos biológicos y de oxidación química, se optó por escoger un sistema/equipo químico de flotación por ozono disuelto, a pesar de ser menos utilizado que los biológicos. Dentro de sus principales ventajas - en comparación a otros sistemas de depuración - cabe mencionar que: su manejo es de baja complejidad; no necesita grandes espacios para su instalación; no tiene grandes tiempos de puesta en marcha; mejora la coagulación y su mantenimiento es de bajo costo. Además, cabe destacar que se trata de una tecnología emergente, pero que ha demostrado reducir notablemente la DQO y DBO por oxidación de ozono, junto con hacerse cargo de las grasas y aceites derivadas del mismo fruto, las cuales además de ser consideradas como potenciales contaminantes, pueden estropear el funcionamiento de los posteriores equipos considerados en el tren de operaciones unitarias.

Para el diseño y funcionamiento del equipo, se recurrió a información bibliográfica para conocer la cantidad de ozono necesaria y alcanzar cierto nivel de depuración del agua residual; determinándose así, que el consumo de ozono está íntimamente relacionado con la estequiometría de la reacción de oxidación. Sin embargo, para el caso de un efluente tan complejo como lo es el del proceso de producción de aceituna de mesa, el valor del consumo de ozono solamente sirve para dar una idea aproximada de la cantidad de ozono requerida. Por lo mismo, se propone realizar pruebas experimentales con la cantidad aquí sugerida con el objetivo de caracterizar el agua obtenida tras realizar el proceso de flotación por ozono disuelto y así comprobar su eficiencia de remoción.

En cuanto a la etapa de neutralización, se asumió que la cantidad de ácido clorhídrico que se necesita depende del pH del agua residual. Además, se considera que la cantidad necesaria para neutralizar el pH de estas aguas, es equivalente a todo el NaOH que existe, dado que la reacción ocuriente corresponde a una reacción heterogénea y no existe suficiente información bibliografía respecto a la misma. Por otra parte, la cantidad de ácido calculado y recomendado para utilizar, es preciso para un pH 12,5, lo que en la práctica puede cambiar, puesto que, la cantidad de soda utilizada y por tanto pH de la solución va a depender de la temperatura ambiente y de las características del tipo de aceituna utilizada y su estado de maduración, en vista de que en estudios realizados como los mencionados en Tovar (2001) evidencia que se observa una disminución del contenido de tocoferoles, polifenoles totales y pigmentos del aceite al avanzar el estado de maduración de las olivas, por lo tanto, la cantidad de NaOH utilizada para producir la hidrólisis de la oleuropeína va a ser cambiante, y se prefirió trabajar con un dato de pH constante, aunque en la realidad es variable. De todas maneras, cuando el sistema de tratamiento se encuentre en funcionamiento, es necesario medir el pH antes de agregar el ácido clorhídrico e ir adicionando el mismo de forma paulatina. Paralelamente se debe estar midiendo el pH hasta alcanzar el esperado, que corresponde a un pH neutro. Se recomienda que la medición de pH se haga por intermedio de un equipo medidor de pH o de manera más fácil con tiras reactivas de pH que son de sencilla utilización.

Al establecerse que el proceso de sedimentación se llevaría a cabo con una coagulación intermedia, fue necesario definir dentro de una gran gama de posibilidades el coagulante más idóneo. De esta manera, se seleccionó el cloruro férrico (FeCl_3) por: ser uno de los coagulantes con más alta eficiencia en la remoción de SST, DQO y DBO; tener un periodo de mezcla rápido, entre 1 a 10 minutos; tiempo de sedimentación de 30 minutos; y también porque su funcionamiento óptimo se sitúa a un pH igual a 7,0, coincidiendo con el pH que tienen los efluentes en esta etapa (luego de la neutralización). Cabe

destacar que la dosis de coagulante propuesta es un estimativo determinado a partir de la revisión de estudios que trataron aguas de características similares, por consiguiente, se hace necesario desarrollar experiencias de prueba como el test de jarra para la determinación de la dosis óptima de coagulante.

Dado que el uso de cloruro férrico como coagulante tiene varias ventajas y características que son adecuadas para el agua a tratar, se decide no añadir floculante a la sedimentación. Además, cabe señalar que, para la potabilización de agua, actúa como un muy eficaz floculante.

Ya que el método escogido para la neutralización de las aguas residuales implica que se lleve a cabo una reacción ácido-base - que permite remover teóricamente el 100% del hidróxido de sodio (NaOH) - mediante la aplicación de ácido clorhídrico (HCl), es que se hace necesario tratar la sal que se genera de esta reacción a través de un método de desalinización. Ante esto, se propuso emplear un equipo de ósmosis inversa, escogido principalmente por sus ventajas, entre las que destacan: su alto porcentaje de recuperación de aguas gracias a la posibilidad de sumar ciclos de recirculación de salmuera; altos porcentajes de remoción de contaminantes, ya que su tecnología de membrana posibilita teóricamente la remoción de casi el 100% de los contaminantes faltantes por remover en el tren del sistema de tratamiento; y además, cumple con el requerimiento de ser un equipo de uso sencillo y accesible en el mercado internacional y chileno, existiendo varias experiencias de instalación en hogares; ya sea para el tratamiento de aguas grises o para convertir el agua de mar en agua potable, por ejemplo.

En relación a los ciclos de recirculación de salmuera, éstos pueden variar en la práctica, ya que el porcentaje de rechazo del equipo de ósmosis inversa varía dependiendo de la calidad del agua y la concentración de sal, por lo que se estima teóricamente que se pueden realizar 4 ciclos. Sin embargo, es posible que sean menos.

Respecto al diseño y cálculos del sistema, se consideró como base de cálculo el máximo de agua que puede generar un productor promedio en la zona, lo que no implica que el sistema completo no sea adaptable, es más, es posible adaptarlo a volúmenes mayores de agua: ya sea aumentando las horas de trabajo de los equipos, diseñando el mismo sistema de tratamiento para una mayor cantidad de agua, o bien, cambiando los equipos por otros de mayor capacidad, pero, utilizando la misma tecnología.

La propuesta de que un ente externo se hiciera cargo del retiro de la salmuera de rechazo producida, respondió al interés de querer simplificar el proceso para los mismos agricultores y agricultoras. Sin

embargo, el manejo de ésta también se podría llevar a cabo por ellos mismos, lo que sería considerado como una oportunidad para revalorizar el residuo, apostando así por un manejo circular del proceso. En el caso de que se optara por realizar lo anterior, existen dos grandes opciones: la primera es que la salmuera generada, sea aprovechada durante la etapa de envasado previo a la venta de la aceituna, o bien, durante la etapa de fermentación de ésta - en el caso de que algún agricultor realice dicha etapa-. La segunda opción, es utilizar la evaporación como técnica para reducir el volumen del residuo, la cual debe ser diseñada en función de las condiciones climáticas del lugar: pudiendo adoptar configuraciones como la evaporación solar o la evaporación forzada automatizada, similar a lo que se busca hacer en el proyecto de gestión de salmueras de Meca & Martínez (2016); donde el factor común a ambos tipos de procesos es la recuperación de la sal, la que podría posteriormente comercializarse, o bien, reutilizarse para otros fines.

El tratamiento de las aguas genera otro importante residuo: los lodos, los cuales se generan durante las etapas de flotación y sedimentación. Dentro de las opciones para su manejo, se pueden mencionar algunos procesos, tales como: la digestión anaeróbica, donde el lodo puede ser aprovechado para generar energía eléctrica o térmica; procesos de deshidratación, que pueden ser naturales o mecánicos, que destacan por su bajo costo, escaso mantenimiento y bajo contenido de agua del producto final, y, procesos de acondicionamiento, los cuales se realizan previamente a la deshidratación para mejorar las características de los lodos.

Una opción viable puede ser la instalación de lechos de secado, un sistema natural de deshidratación, que se encuentra dentro de los métodos más empleados, debido a que es simple y económico (CONAGUA, 2015). Este tipo de manejo no requiere energía y el clima del sector de Jahuel favorecería para un funcionamiento óptimo del proceso. Por otra parte, entre sus principales ventajas se encuentra la reducción de volumen de lodos, lo que disminuiría la cantidad total generada de los mismos y, por lo tanto, los traslados hacia su disposición final, reduciendo costos en transporte y almacenamiento. El lodo es deshidratado por drenaje a través de una masa de lodo y arena, y por evaporación desde la superficie expuesta al aire, este, se puede extraer después de que se haya secado y drenado lo suficiente para ser paliado. El contenido de humedad en condiciones favorables, después de 10 a 15 días, es de 60%. Una vez seco el lodo se retira y se traslada a rellenos sanitarios, vertederos controlados o se utiliza como acondicionador de suelos. Considerando estas opciones, estos lodos deshidratados podrían ser trasladados por una empresa autorizada, hacia el vertedero municipal, ubicado en la

localidad de Tabolango. En cuanto al lixiviado recolectado este puede ser reincorporado al mismo sistema de tratamiento, pudiendo recuperar un porcentaje más de agua disponible para riego.

En México, esta tecnología es bastante común en poblaciones pequeñas, un ejemplo de esto, se realiza en Huajuapán de León en Oaxaca (CONAGUA, 2015) donde los lodos que se separan en el sedimentador son deshidratados en un lecho de secado, antes de ser trasladados a un relleno sanitario para su disposición final. Asimismo, bajo el marco del Programa para la Sostenibilidad de los Servicios de Agua y Saneamiento en comunidades rurales en Perú, se ha instalado esta tecnología en varias comunidades rurales de agricultores, tales como en Huiscolocos en Zacatecas (CEAPA, 2007).

Si bien la comunidad de agricultores y agricultoras de la zona de estudio en su mayoría tienen instalado en sus terrenos sistemas de regadíos eficientes (por goteo), no los utilizan, ya que quizás por desconocimiento, prefieren aplicar el método tradicional denominado riego tendido, el cual, es menos eficiente por requerir más volumen de agua para regar una misma cantidad de hectáreas; lo que conlleva a que los agricultores deban comprar agua para poder suplir su demanda. Es por esto que se hace necesario concientizar a la comunidad acerca de la importancia de hacer un uso eficiente del recurso hídrico; asegurándoles y probando que el uso de los goteros si permitirá suplir los requerimientos hídricos de los árboles de olivo, sin sufrir riesgo de pérdida de los mismos.

En este contexto, y en el caso de que la comunidad decidiera utilizar el sistema de regadío por goteo, cabe destacar que las aguas recuperadas del sistema de tratamiento diseñado, suplen perfectamente la demanda de agua de los agricultores promedios de la zona, y, en el caso de que hubiese un exceso de la misma, es posible reutilizarla en las etapas de sodificación y lavado, generándose así, un ahorro de costos por concepto de compra de agua. Mientras que, en el caso de que se continúe utilizando el riego tendido, será necesario seguir comprando cierta cantidad de agua para riego.

Los costos de instalación del sistema de tratamiento son de aproximadamente \$16.000.000 a 17.000.000 CLP, mientras que la mantención mensual ronda los \$ 470.000 CLP. Al ser éstos costos que se escapan de la realidad de un agricultor o agricultora, para financiar el proyecto se proponen dos alternativas: la primera consiste en postular - en conjunto con la Municipalidad de Santa María y/o entidades como organizaciones sin fines de lucro – por ejemplo, a las convocatorias realizadas por el Ministerio de Agricultura a través de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), que todos los años destina cerca de \$4 mil millones al financiamiento de proyectos que tengan como lineamientos la eficiencia hídrica y/o mitigación/adaptación al cambio climático. Por su parte, la segunda alternativa

consiste en que entre varios agricultores opten por tratar sus aguas de manera conjunta y así dividir los costos de instalación y mantención, pero para ello habría que considerar que las dimensiones del sistema diseñado cambiarían, así como su capacidad de tratamiento y también la superficie necesaria para la instalación de los equipos.

Los costos de consumo de energía eléctrica obtenidos pueden cambiar, ya que no se incluyó en los cálculos el cargo base del consumo del hogar, lo que conllevó a que no fuese posible establecer si se debiese agregar, o no, un cobro adicional denominado tarifa aplicada por los gastos límites en invierno (asociados a la tarifa BT1A). Dicho cobro adicional, debiese agregarse siempre y cuando la suma del consumo mensual del hogar y el sistema de tratamiento (en kWh) sobrepase los 430 kWh entre los meses de abril y septiembre. De todas maneras, es posible no asociar el consumo eléctrico del sistema de tratamiento al consumo del hogar, es decir, que el suministro energético sea totalmente autónomo.

Por otra parte, para el abastecimiento eléctrico se propone instalar paneles solares u otro tipo de tecnología afín que se adapte a la zona, con el objetivo de disminuir costos a mediano y largo plazo, tender hacia una mayor eficiencia energética en beneficio del medioambiente y entregarle autonomía al proceso.

Finalmente es importante señalar que: en el presente año el Decreto Supremo N°18 del MOP que declara zona de escasez hídrica a toda la Provincia de San Felipe, termina su periodo de vigencia de 6 meses, no prorrogables. Sin embargo, considerando el “Informe Condiciones Hidrometeorológicas, Provincia de San Felipe, Quillota y Los Andes”, que verifica la condición de sequía, y con objeto de implementar medidas extraordinarias, que contribuyan a superar la escasez del recurso hídrico, se dicta el 4 de septiembre de 2020, el Decreto Supremo N°100 del MOP, que declara zona de escasez a las provincias de San Felipe de Aconcagua, Quillota y Los Andes, Región de Valparaíso, el cual tiene vigencia de 6 meses, no prorrogables.

12. CONCLUSIONES

La caracterización de las aguas residuales provenientes de la producción de la aceituna de mesa verde, específicamente en los efluentes generados en la etapa de sodificación y lavado, se realizó de manera exitosa gracias a revisión bibliográfica y recopilación de antecedentes, obteniéndose información importante de sus parámetros físico-químicos característicos y de los volúmenes de agua que se utilizan y generan en el proceso productivo.

En cuanto al diseño del sistema de tratamiento, se determinó que la implementación del tren de operaciones unitarias propuesto, es la alternativa más adecuada y eficiente para el tratamiento y posterior reutilización de las aguas residuales, ya que, mediante la recopilación de información, tanto de las opciones tecnológicas más eficientes utilizadas actualmente, como de las nuevas tecnologías que han surgido en el último tiempo, este sistema de depuración basado en tratamientos físico-químicos, logra cumplir con las demandas existentes en la zona, gracias a que se tuvo en consideración que el sistema otorgase tecnología que permitiera hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos, de manera que generara beneficios a nivel medioambiental, social y económico.

Se realizó el análisis de costos, para el sistema propuesto, donde se obtuvo que la instalación del sistema tiene un costo total aproximado de \$16.410.000 CLP y una mantención mensual de aproximadamente \$470.000 CLP. El costo de la mantención del sistema fue comparado con los gastos fijos que deben suplir los agricultores y agricultoras sin el sistema de tratamiento en su situación actual, a lo que la implementación del sistema los lleva a un ahorro mensual \$296.000 CLP aproximadamente, por lo que la costosa inversión para la instalación del sistema, considerando el ahorro mensual podría ser recuperada en un periodo de 5 años.

Finalmente, y en base al estudio, se evidencia que sí existe una factibilidad técnico-económica para la implementación del sistema que permite tratar las aguas residuales generadas del proceso productivo de la aceituna de mesa. Además, considerando el contexto socioeconómico en el que se espera que sea implementado el proyecto, es posible definir ciertos aspectos de carácter ambiental, social y económico que traerían beneficios a la comunidad o a todo aquel que decida implementar el sistema de tratamiento propuesto. En cuanto a los beneficios ambientales, se esperaría reducir el riesgo de que se generen impactos ambientales negativos que puedan alterar las características físicas y químicas de los componentes del medio ambiente a causa del mal manejo de las aguas residuales. Además, contribuye a la reutilización de agua para actividades económicas agrícolas, reduciendo parte

importante de las extracciones de agua para este rubro, uno de los más intensivos en el consumo hídrico. Respecto al ámbito social, los beneficios se verían plasmados en la contribución a la superación de la pobreza en zonas que se encuentran bajo escasez hídrica y que su principal fuente económica depende de la disponibilidad de agua. En relación al aspecto económico, los beneficios se generarían al disminuir la cantidad de agua a comprar para riego; prevenir posibles multas a causa del mal manejo o potencial vertimiento de las aguas residuales; además de no incurrir en gastos por gestión de terceros para el tratamiento o disposición final de estas aguas.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, L. Garay, M. Bermeo, S. García, I. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de textilería utilizando carbón activado* (Primera edición). Guayaquil, Ecuador. Grupo Compas.
- Achak, M. Elayadi, F. Boumya. W. (2019). *Chemical Coagulation/Flocculation Processes for Removal of Phenolic Compounds from Olive Mill Wastewater: A Comprehensive Review*. American Journal of Applied Sciences, vol.16 (3), Pag, 80, doi: 59.91.
- Agabo, C. (2018). *Aplicación de tecnologías avanzadas de oxidación en el tratamiento de las aguas residuales de la industria oleícola* (Tesis doctoral). Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Sevilla, España.
- Alghoul, M. Poovanaesvaran, P. Mohammed, M. Fadhil, A. Muftah, A. Alkilani, M, Sopian, K. (2016). *"Design and experimental performance of brackish water reverse osmosis desalination unit powered by 2 kW photovoltaic system"*. Renew. Energy, vol. 93, Pag 101-114, doi:10.1016/j.renene.2016.02.015
- Al-Saydeha, S. El-Naasa, M, Zaidib, S. (2017). *Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, vol. 56, Pag 35-44, doi: 10.1016/j.jiec.2017.07.026
- Andía, Y. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación*. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico (SEDAPAL). Lima.
- Arancibia, V. (2006). *Tipos de elaboración de aceitunas*. Informativo Ministerio de Agricultura (N°28). Chile.
- Arreguín, F. Martín, A. (2000). *Desalinización del agua*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Avallaneda, L. (2016). *Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima*. Universidad Libre. Bogotá.
- Ávila, R. Cárdenas, A. (2000). *Tratamiento de lactosuero utilizando la técnica de electrodialisis*. Interciencia, vol. 25(2), Pag 80-84.
- Beltrán, J. Torregrosa, J. García, J. Dominguez, J. (2000). *Tratamiento con ozono de las aguas residuales de almazara*. Grasas y Aceites, vol. 51 (5). Pag 301-306.
- Beltrán, J. Torregrosa, J. García, J. Dominguez, J. (2001). *Tratamiento con ozono de leñas residuales del aderezo de aceitunas negras*. Grasas y Aceites, vol. 52(1), Pag 17-25.

- Bernal, L. Solís, C. Linares, I. Barrera, C. Colín, A. (2011). *Tratamiento de agua residual municipal por un sistema fisicoquímico y oxidación química en flujo continuo*. Avances en ciencias e ingeniería, vol. 2(2), Pag 69-81.
- Borgo, E. (2013). *Diagnóstico sobre los efluentes generados y vertidos en la industria olivícola en empresas del gran Mendoza- Sector aceitunas verdes en conserva* (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, Argentina.
- Bravo, M. (2011). *Reutilización de Aguas Grises*. Revista SustentaBiT, N°11. Biblioteca de la Cámara Chilena de la Construcción.
- Cantera, C. (2014). *Regeneración de salmueras de la industria de aderezo de aceitunas* (Tesis de grado). Universidad de Valladolid. Valladolid, España.
- Carbonell, C. (2017). *Recuperación de compuestos fenólicos contenidos en la salmuera residual del proceso de fermentación de las aceitunas de mesa mediante procesos de membrana: Combinación de la ultrafiltración y la nanofiltración* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Carrasco, C. (2007). *Tratamiento Físico-químico de Aguas Residuales* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Cazares, K. (2016). *Recuperación de compuestos fenólicos mediante membranas de Nanofiltración. Efecto de la conductividad y la materia orgánica* (Trabajo de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Cegarra, S (2014). *Electrodíálisis reversible para la obtención de agua regenerada a partir de efluentes industriales depurados* (Trabajo de fin de grado). Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia
- Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE). (2001). *La Desalación como alternativa al PHN*. Universidad de zaragoza. España.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida (Manual I: teoría tomo I)*. Organización Panamericana de la salud. Lima. Perú.
- Chumbita, N. (2017). *Caracterización y propuesta de tratamiento para efluentes líquidos generados en la elaboración de aceite de oliva en la Planta Piloto de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo* (Tesina de grado). Universidad de Nacional del Cuyo. Argentina.

- Cifuentes, M. (2017). *Recuperación de polifenoles de aguas residuales del proceso de aceitunas de mesa mediante membranas*. (Trabajo fin de máster). Universidad politécnica de valencia. España.
- Cisnero, J. Manzanera, M. Bursón, E. Correa, A. (2018). *Depuration of Wastewater from Table Olive Industries*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015) *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México.
- Contreras, M. (2012). *Obtención de agua potable a partir de agua de mar por congelación - fusión* (Tesis de Máster). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.
- Decreto N°18. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, 03 de marzo de 2020.
- Decreto N°100. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, 04 de septiembre de 2020.
- Decreto N°46, Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, Santiago, Chile, 08 de marzo de 2002.
- Decreto N°609. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, 20 de julio de 1998.
- Decreto N°90, Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, Santiago, Chile, 07 de marzo de 2001.
- Del rio, L. (2016). *Análisis de un sistema de desalinización por compresión mecánica de vapor*. (Trabajo de fin de grado). Universidad de Coruña. España.
- Dévora, G. González, R. Ruiz, S. (2011) *Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México*. Instituto Tecnológico de sonora. Tecnología y Ciencias del Agua, vol 14 (3).
- Domínguez, J. Vergara, M. Aguirre, R. Barrera, D. Montero, J. Cáceres, L. Eguilor, P. Espinoza, A. García, A. Reyes, A. Pino, G. Pizarro, M. Tapia, B. Acuña, D. Laval, E. Yáñez, L. Muñoz, M. Cartes, G. Contreras, P. Valdés, A. Galán, M. (2019). *Panorama de la agricultura chilena. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA)*. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.

- Driss, S. (2010). *Aprovechamiento de hueso de aceituna biosorción de iones metálicos* (Tesis Doctoral). Universidad de Granada. España
- Duncan. R. (2014). *Plant Equipment and Maintenance Engineering Handbook*. Estados Unidos. McGraw-Hill Education.
- Escuela Organización Industrial. (2008). *Características y tratamientos de las aguas residuales industriales por sectores: agrícolas y alimentarias II. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha*. Sevilla. Recuperado de: file:///C:/Users/Alumno/Downloads/componente48096%20(2).pdf
- Estrada, J. (2011). *La aceituna de mesa: nociones sobre sus características, elaboración y cualidades*. Diputación de Sevilla. Andalucía. España.
- Fajardo, A. (2018). *Desalinización de agua: ¿una alternativa sostenible para la potabilización del agua?* (Monografía). Fundación Universidad de América. Bogotá.
- Fernández, A. Letón, P. Rosal, R. Dorado, M. Villar, S. Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Universidad de Alcalá. Madrid.
- Fernández, S. (2015). *Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile* (Tesis de Pregrado). Universidad De Chile. Santiago, Chile.
- Fernández, J. Arreghini, M. Ugarte, S. Herrero, C. Herrero, O. Maya, S. (2001). *Efluentes líquidos del procesamiento de las aceitunas verdes en fresco situación en la provincia de Mendoza*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol 5.
- Ferrer, E. (2017). *Tratamiento biológico aerobio para aguas residuales con elevada conductividad y concentración de fenoles* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Forero, J. Díaz, J. Blandón, V. (1999). *Diseño de un nuevo sistema de flotación para tratamiento de aguas industriales*. Ciencia, Tecnología y Futuro, vol 1(5), Pag. 69.
- Fundación Para la Innovación Agraria (FIA). (2020). *Finaliza proyecto que puso en valor aceituna sevillana curada "a la antigua"*. Recuperado de: <http://www.fia.cl/finaliza-proyecto-que-puso-en-valor-aceituna-sevillana-curada-a-la-antigua/>
- Garcia, E, Cassano A, Criscuoli A, Conidi C, Drioli E. (2010). *Recovery and concentration of polyphenols from olive mill astewaters by integrated membrane system*. Water Research, vol. 44, doi: 10.1016/j.watres.2010.05.005.

- Comisión Estatal de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Zacatecas (CEAPA). (2007) *Convocatoria a licitación pública (N°002), Comisión estatal del agua potable y alcantarillado*. Gobierno del estado de Zacatecas. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4997206&fecha=23/08/2007&print=true/
- Gołub, A. Piekutin, J. (2020). *Removal of inorganic impurities from wastewater after production of soda ash on selected sorbents*. Scientific Reports Nature research, vol 10, doi: 10.1038/s41598-020-61429-w.
- Gómez, N. (2005). *Remoción de materia orgánica por Coagulación - Floculación*. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Greenlee, L. Lawler, D. Freeman, B. Marrot, B. Moulin, P (2009). *"Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges"*. Water Research, vol. 43, Pag 2317-2348, doi: 10.1016/j.watres.2009.03.010
- Grueso, M. Castro, C. Correa, M. Saldarriaga, J. (2019). *Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 18(35), Pag 69-89.
- Guevara, A. (2015). *Procesamiento de aceituna*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú
- Guía de desalación (2009). *Guía de desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano*. Ministerio de sanidad y política social. Madrid, España.
- H2Oolivetree. (2014-2020). *Reutilización de aguas residuales procedentes de la industria de aderezo de aceituna de mesa para riego por goteo en olivar*. Nombre de la página web: h2oolivetree. <http://www.h2oolivetree.es/>.
- Hernández, I. (2011). *Tratamiento de aguas residuales para aporte a central térmica de ciclo combinado* (Proyecto fin de carrera). Universidad Carlos III de Madrid. Leganés.
- Ho Lee, B. Chul, W. Manna, B, Kyu Ha, J. (2008). *Dissolved ozone flotation (DOF), a promising technology in Admunicipal wastewater treatment*. Elsevier, vol. 225, Pag. 260-273, doi: 10.1016/j.desal.2007.07.011.
- Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). (2020). *Uso de agua residual procedente del procesado de la aceituna de mesa como biofertilizante*. Nombre de

la página web: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/web/>.

- Lambraño, J. Motta, A. Narváez, E. (2018). *Diseño y montaje de un tren de intercambio iónico para el laboratorio de operaciones unitarias de la universidad san buenaventura, seccional Cartagena* (Trabajo de fin de grado). Universidad de San Buenaventura. Colombia.
- López, R. (2007). *Características y tratamiento de las aguas residuales de la industria de aderezo de aceituna de mesa*. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla. España. Recuperado de:
[file:///C:/Users/Alumno/Downloads/componente48093%20\(7\).pdf](file:///C:/Users/Alumno/Downloads/componente48093%20(7).pdf)
- López, U. (2005). *Aplicación de la electrodialisis a la eliminación de nitrato en agua* (Tesis de Maestría). Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica (CIDETEQ). México. Recuperado de:
<https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/157/1/Aplicaci%C3%B3n%20de%20la%20electrodi%C3%A1lisis%20en%20agua..pdf>
- Lozano, W. (2012). CURSO: *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales*. Universidad Piloto de Colombia. Colombia.
- Lugones, F. (2018). *Biorremediación de efluentes provenientes de la industria de aceitunas maquinadas* (Tesina de Grado). Universidad Nacional del Cuyo. Argentina.
- Macias, Y. Fasce, W. (2013). *Cálculo y Diseño de un equipo desalinizador de agua por el método de evaporación* (Tesis de pregrado). Universidad Laica Eloy Alfaro De Manabi. Ecuador.
- Martin, I. Salcedo, R. Font, R. (2011). *Mecánica de fluidos: Tema 5 operaciones separación sólido-fluido*. Universidad de alicante. España.
- Martínez, L. (2009). *Manejo del Riego en Olivos*. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. Recuperado de:
<http://biblioteca.inia.cl/medios/intihuasi/documentos/seminariolivos09/ManejodelRiegoenOlivosLimari09.pdf>
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas*. Segunda edición. Madrid. España. Ediciones del Castillo, S.A.

- Meca, S. Martínez, X. (2016). *Gestión de salmueras en la industria agroalimentaria*. Proyecto WaterReuse (ZELDA). España.
- Medina, I. (2007). *Tratamiento de aguas de producción con electrodiálisis* (Tesis de pregrado). Universidad de los Andes. Mérida.
- Metcalf, R & Eddy (1995). *Ingeniería de agua residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Estados Unidos. Mc Graw-Hill Education.
- Miranda, J. (2017). *Factores que intervienen en la contaminación del suelo por aguas residuales del proceso de fermentación de aceitunas verdes estilo sevillano en el distrito de la yarada los palos, región de Tacna, 2017* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann Tacna. Tacna, Perú
- Molinos. M, & González. D (2019). *Evaluation of the economics of desalination by integrating greenhouse gas emission costs: An empiric application for Chile*. Renewable Energy, vol. 133, Pag. 1327-1337, doi: 10.1016/j.renene.2018.09.019
- Montes, J. (2011). *Introducción de mejoras en el proceso de aderezo de aceitunas*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. España.
- Mora, J. Vatai, G. Bekassy, E. (2007). *Eliminación de sal inorgánica residual producida en la fermentación farmacéutica por nanofiltración y ósmosis inversa: experimento y modelo matemático*. Tecnología en Marcha, vol. 20 (1).
- Neira, M. (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Chile.
- Norma chilena oficial N°1333, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, 22 de mayo de 1978.
- Novoa, G. (2017). *Optimización y Modelamiento de Sistema de Desalinización Térmica Multi-efecto MED* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María. Chile
- Organismo de Evolución Y fiscalización Ambiental (OEFA). (2019). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Gobierno del Perú. Recuperado de <https://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/Brochure%20Aguas%20Residuales%20CS5%20AM%20final%20individual.pdf>
- Oropeza, V. (2004). *Parque Reserva, Península del Carrizal* (Tesis pregrado). Universidad de las Américas puebla. México

- Ortiz, H. (2002). *Tratamiento de aguas oleosas por flotación* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Ortiz, M. Gutiérrez, M. Sánchez, E. (1995). *Propuesta de manejo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, Estado de Morelos, MÉXICO*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 11 (2). Pag 105-115.
- Otero, N. (2006). *Filtración de aguas residuales para reutilización* (Tesis Doctoral). Universidad de la Laguna. España.
- Ozdemir, Y & Keskinel, O. (2018). *Wastewater of Table Olive Industry and its Pollution Effects. BIOMEDICAL*. Journal of Scientific & Technical Research, Vol. 10(4), Pag 7968-7969, doi: 10.26717/BJSTR.2018.10.001986.
- Pastor, L. Doñate, S. Ferrer, E. Mendoza, J. Iborra, A. (2014). *Alternativas para el tratamiento de salmueras procedentes del procesado de aceitunas: procesos químicos y biológicos*. Tecnoaqua. Vol 10
- Pérez, L. (2005). *Teoría de la sedimentación*. Instituto de ingeniería Sanitaria y Ambiental. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Recuperado de: http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf/.
- Pirsaeheb, M. Naderi, S. Lorestani, B. Khosrawi, T. Sharafi, K. (2014). *Efficiency of Reverse Osmosis System in the Removal of Lead, Cadmium, Chromium and Zinc in Feed Water of Dialysis Instruments in Kermanshah Hospitals*. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, vol. 24(118), Pag 151-157.
- Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO). (2010). *Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) Comuna de Santa María*. Ilustre Municipalidad de Santa María. Recuperado de: http://www.santamariatransparente.cl/web/images/stories/Contenido/Pladeco/pladeco_final.pdf
- Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO). (2016). *Plan de Desarrollo Comunal 2017 - 2022*. Ilustre Municipalidad de Santa María. Recuperado de: <http://www.santamariatransparente.cl/web/images/stories/Contenido/Pladeco/2017/PLADECO%20FINAL.pdf>
- Prats, D. (2000). *Desalinización de aguas salobres y de mar como alternativa de abastecimiento*. Centro de Investigación del Bajo Segura (alquibla), Vol. 10, Pag 64.

- Programa de Medio Ambiente (Fundación Chile). (2010). *Estimación de costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos. estimación de costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos*. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Chile.
- Puig, J. (2003). *Utilización de aguas residuales en los sistemas de riego localizado: embozamiento y filtración* (Tesis Doctoral). Universitat de Lleida. España.
- Quiroz, C & Gonzalez, E. (2017). *Manual de manejo de huerto de olivo*. Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile: Boletín INIA N°16.
- Rivera, P. (2016). *Estudio preliminar del uso de la fotooxidación y fotocátalisis como alternativa para el tratamiento de las aguas de lavado de aceite y aceituna, utilizando TiO₂ como catalizador, H₂O₂ como oxidante y luz UV* (Tesis pregrado). Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
- Rojas, C. (2016). *Diseño y análisis de viabilidad de un sistema de desalación mediante compresión mecánica de vapor accionado por energía eólica*. (Tesis de pregrado). Escuela técnica superior de ingenieros industriales. España.
- Romero, J. (2005). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Colombia, Escuela colombiana de ingeniería.
- Ruiz, R. (2019). *Diseño de un prototipo de ósmosis inversa para tratamiento de aguas residuales en la industria textil de Cúcuta*. Universidad Libre Seccional Cúcuta. Colombia.
- Sánchez, C. (2015). *Intercambio iónico, serie: tratamientos terciarios*. Water and Enviromental Engineering Group. Universidadade da Coruña.
- Santos, K. Dominguez, J. Marrero, R. Cordero, Y (2018). *La corrosión en la unidad de reformación catalítica de nafta de una refinería de petróleo (II parte)*. Tecnología Química, vol. 38(3).
- Tapia, B. (2014). *Aceitunas de Mesa*. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile.
- Tapia, F & Arancibia, V. (2001). *Preparación de aceitunas*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín (N°73), Pag 5-20.

- Tapia, F. Salas, C. Riveros, F. Abarca, P. Riquelme, J. Sierra, C. Osorio, A. Quiroz, C. (2017). *Manual de Manejo de Huerto de Olivo*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile
- Tapia, F. Astorga, M. Ibacache, A. Martínez, L. Sierra, C. Quiroz, C. Larraín, P. Riveros, F. (2003) *Manual del cultivo del olivo*. Instituto de investigaciones agropecuarias (INIA). La Serena, Chile: Boletín N°101.
- Teichert, S. Carrasco, F. Platzner, W. (2017). *Estudio de tecnologías de tratamiento de agua residual y concentración en la industria*. Recuperado de: https://www.fraunhofer.cl/content/dam/chile/es/documents/csetdocument/reportes/CS-ET-2017-PUB-005-WT_Estudio_Tecnologia_Tratamiento_Agua.pdf
- Tovar, M. (2001). *Estudio del efecto de la aplicación de diferentes estrategias de riego al olivo (olea europaea l.) de la variedad arbequina sobre la composición del aceite* (Tesis doctoral). Universitat de Lleida. España.
- Tuset, S. (2019). *Desalación de agua mediante sistemas de evaporación al vacío*. Nombre de la página web: Condorchem Envitech. <https://blog.condorchem.com/desalacion-de-agua/>
- Vivas, D, et al., (2007). *Estudio sobre la contaminación real producida por bodegas y almazaras en diez municipios de Extremadura*. Fundación Biodiversidad. España. Recuperado de: https://asevex.es/pdf/ponencia_publicacion.pdf.

14. ANEXOS

14.1. Cotizaciones de los principales materiales y equipos

14.1.1. Electrobomba 0,3 HP



Ficha técnica		^
Caudal máximo	83 l/min	
Características	Para drenaje de ambientes inundados, vaciado de piscinas y desagüe de aguas residuales, posee sensor de nivel que la apaga automáticamente al descender el nivel del agua	
Garantía	1 año	
Marca	Humboldt	
Modelo	Q2503M	
Uso	Doméstico	
Voltaje	220 V	
Altura elevación máxima	8 M.C.A	
Material	Plástico/Acero Inoxidable	
Alimentación	Red eléctrica	
Conexión	1" - 1 1/2"	
Potencia	0.3 HP	

14.1.2. Equipo de flotación por aire disuelto (DAF)




Ver imagen más grande



☐ Añadir para co... ☐ Compartir

DAF Unidad de flotación de aire disuelto el equipo de tratamiento de agua de Yosun

FOB Referencia Precio: [Consiga El Último Precio](#)

US\$10.000,00 - US\$15.000,00 / Set | 1 Set/s (Pedido mínimo)

Número de Mod... DAF-005 de flotación de aire di... [All 8 Options](#) ✓

Capacidad de pr... Reducción TSS hasta 95% [All 2 Options](#) ✓

Garantía: **2 años** en garantía de maquinarias

Lead Time:

Cantidad(Set/s)	1 - 5	6 - 20	>20
Hora del Est.(días)	45	60	Negociable

Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Alibaba.com Freight | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Pago: Online Transfer ✓

Logística de Alibaba.com | Soluciones de inspección

Detalles rápidos

Lugar del origen:	Jiangsu, China	Marca:	YOSUN, YOSUN
Material:	Acero al carbono o SUS304, Acero inoxidable o acero al carbo...	Peso:	1,5-12000 KG
Tamaño:	Más de 1 M * 1 M * 2 M	Potencia:	Más que 1.5KW
Garantía:	2 años	Servicio postventa ...	Video de apoyo técnico, La instalación de campo y puesta en ...
Nombre:	Flotación de aire disuelto	Color:	Yosun estándar o según los requisitos del cliente
Característica:	Alta carga hidráulica con skimmer	Función:	SS eliminación DBO eliminación
Aplicación:	Tratamiento de aguas residuales	La capacidad de:	5-200m3/h
Poder:	1,5-22KW	Transporte:	Envío por 20'GP, 40'HQ, 40'FQ

Capacidad de suministro

Capacidad de sumi... 500 Set/Sets per Year DAF unit

14.1.3. Generador de ozono



Ver imagen más grande

Micro Nano burbuja Gas-líquido ozono Agua Bomba de mezcla para el tratamiento de flotación de aire disuelto aguas residuales DAF modelo 20EDQS04S

1 - 99 es	>=100 es
US\$380,00	US\$350,00

Número de Mod... 20EDQS04S

Capacidad de pr... 90%

Garantía: **1 año** en garantía de maquinarias

Lead Time:

Cantidad(es)	1 - 10	>10
Hora del Est.(días)	10	Negociable

Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Alibaba.com Freight | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Pago: **VISA** **MasterCard** **T/T** Online Transfer **Apple Pay** **WesternUnion** **WU** **Alibaba.com**

Logística de Alibaba.com · Soluciones de inspección · Condiciones de pago: 60 días netos

Detalles rápidos

Condición: Nuevo

Después de servi... Video de apoyo técnico, Apoyo en línea, España

Exposición de ubic... None

Marca: Edon

Servicio postventa ... Video de apoyo técnico, Libre de España, Apoyo en línea

Aplicación: Transporte de fluidos, mezcla gas-líquido, preparación de agu...

La certificación: CE CCC

Poder: 0.5Kw

Ascensor: 40m

Industrias aplicable... Hoteles en, Planta de fabricación, Las granjas, Restaurante, U...

Servicio Local ubic... None

Lugar del origen: Shanghai, China

Garantía: 1 año

Nombre del produc... Micro DE generador

Material: SUS 304

La capacidad de: 1m³/h

Tensión de: 380V

De calibre: 20mm, 15mm

Capacidad de suministro

Capacidad de sumi... 1000 Piece/Pieces per Month

14.1.4. Equipo de ósmosis inversa



Ver imagen más grande



Listo para enviar

En stock

Envío rápido

Volardda planta de agua de ósmosis inversa purificador/purificador de/purificación/filtración

Datos aduaneros

1 comprador

1 Set/s	>=2 Set/s
US\$2.000,00	US\$1.000,00

Número de Mod... CX-RO500LJ1

Capacidad de pr... 98.5%

\$

98.5%

-

1

+

Garantía: 1 año en garantía de maquinarias

Customization: Logotipo personalizado (Pedido mínimo: 100 Set/s)
Embalaje personalizado (Pedido mínimo: 200 Set/s) More

Garantía comercial

Protege tus pedidos de Alibaba.com

Pago:

VISA

MasterCard

T/T

Online Transfer

Apple Pay

WesternUnion/WU

Boleto

Logística de Alibaba.com · Soluciones de inspección

Detalles rápidos

Lugar del origen:	Guangdong, China	Marca:	Volardda
Material:	Caja de madera, Plástico re...	Peso:	40-100 kg
Tamaño:	140*60*158 cm	Potencia:	2kw
Garantía:	1 año, 12 meses	Servicio postventa ...	Video de apoyo técnico, Ap...
Aplicación:	Purificación de agua	Tipo de:	Puro sistema de tratamient...
Color:	Personalizar	Función:	Producir agua pura
La certificación:	ISO9001 CE	La capacidad de:	500LPH
Tensión de:	Personalizado traje de	Control:	Manual automática

14.1.5. Estanques

 BIOPLASTIC Tratamiento y Almacenamiento de Aguas	 POLIETILENOS BIOPLASTIC CHILE LTDA. 77.704.270 - R 22.7155200 DS INFO@BIOPLASTIC.CL CAMINO SANTA SOFIA 5/N PARCELA 1 CALERA DE TANGO R.M. WWW.BIOPLASTIC.CL																																																								
Señores : ANYEL ISABEL PALACIOS HUERTA Fecha de emisión : 28.10.2020 RUT : 19267978-8 Atención : ANYEL ISABEL PALACIOS HUERTA Correo : ANYELPAHU@GMAIL.COM Teléfono : 979565975 Vendedor : FRANCISCA LLANCAMAN Centro : BI01 - Bioplastic Santiago Of. Ventas : 0002 - Ofic Ventas Santiago De acuerdo a lo solicitado, tenemos el agrado cotizar a usted, lo que a continuación se detalla:																																																									
OFERTA DE VENTAS N° 2030028386																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>#</th> <th>Código</th> <th>Descripción</th> <th>Cant.</th> <th>UM</th> <th>Prc. Unitario</th> <th>Dcto. %</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>EVS200</td> <td>Estanque Vertical Estandar 200</td> <td>3</td> <td>UND</td> <td>40.898</td> <td>25,000</td> <td>92.021</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>EVS10000</td> <td>Estanque Vertical Estandar 10.000 Lts</td> <td>1</td> <td>UND</td> <td>1.109.380</td> <td>45,000</td> <td>610.159</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>KITB05HP</td> <td>KIT BBA 0.5 HP,SEN NIVEL 3 MT,SIN BBA CL</td> <td>1</td> <td>UND</td> <td>105.484</td> <td>8,000</td> <td>97.045</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>EVS1300</td> <td>Estanque Vertical Estandar conico 1300 l</td> <td>1</td> <td>UND</td> <td>113.378</td> <td>25,000</td> <td>85.034</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>EVAS2000</td> <td>ESTANQUE VERTICAL ABIERTO ESTANDAR 2000</td> <td>1</td> <td>UND</td> <td>151.225</td> <td>25,000</td> <td>113.419</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>EHR6200</td> <td>Estanque Horizontal Reforzado 6200 Lts M</td> <td>1</td> <td>UND</td> <td>940.802</td> <td>25,000</td> <td>705.602</td> </tr> </tbody> </table>		#	Código	Descripción	Cant.	UM	Prc. Unitario	Dcto. %	Total	1	EVS200	Estanque Vertical Estandar 200	3	UND	40.898	25,000	92.021	2	EVS10000	Estanque Vertical Estandar 10.000 Lts	1	UND	1.109.380	45,000	610.159	3	KITB05HP	KIT BBA 0.5 HP,SEN NIVEL 3 MT,SIN BBA CL	1	UND	105.484	8,000	97.045	4	EVS1300	Estanque Vertical Estandar conico 1300 l	1	UND	113.378	25,000	85.034	5	EVAS2000	ESTANQUE VERTICAL ABIERTO ESTANDAR 2000	1	UND	151.225	25,000	113.419	6	EHR6200	Estanque Horizontal Reforzado 6200 Lts M	1	UND	940.802	25,000	705.602
#	Código	Descripción	Cant.	UM	Prc. Unitario	Dcto. %	Total																																																		
1	EVS200	Estanque Vertical Estandar 200	3	UND	40.898	25,000	92.021																																																		
2	EVS10000	Estanque Vertical Estandar 10.000 Lts	1	UND	1.109.380	45,000	610.159																																																		
3	KITB05HP	KIT BBA 0.5 HP,SEN NIVEL 3 MT,SIN BBA CL	1	UND	105.484	8,000	97.045																																																		
4	EVS1300	Estanque Vertical Estandar conico 1300 l	1	UND	113.378	25,000	85.034																																																		
5	EVAS2000	ESTANQUE VERTICAL ABIERTO ESTANDAR 2000	1	UND	151.225	25,000	113.419																																																		
6	EHR6200	Estanque Horizontal Reforzado 6200 Lts M	1	UND	940.802	25,000	705.602																																																		
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Condición de : D000 - Contado</td> <td style="width: 20%; text-align: right;">Total Neto</td> <td style="width: 20%; text-align: right;">1.703.280</td> </tr> <tr> <td>Vía de pago : Efectivo ing</td> <td style="text-align: right;">IVA 19%</td> <td style="text-align: right;">323.623</td> </tr> <tr> <td>Oferta válida : 30.11.2020</td> <td style="text-align: right;">Total</td> <td style="text-align: right;">2.026.903</td> </tr> <tr> <td>Ind.Gestion : -</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Creado por : FLLANCAMAN</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Stock sujeto a disponibilidad al momento de la compra</td> </tr> </table>		Condición de : D000 - Contado	Total Neto	1.703.280	Vía de pago : Efectivo ing	IVA 19%	323.623	Oferta válida : 30.11.2020	Total	2.026.903	Ind.Gestion : -			Creado por : FLLANCAMAN			Stock sujeto a disponibilidad al momento de la compra																																								
Condición de : D000 - Contado	Total Neto	1.703.280																																																							
Vía de pago : Efectivo ing	IVA 19%	323.623																																																							
Oferta válida : 30.11.2020	Total	2.026.903																																																							
Ind.Gestion : -																																																									
Creado por : FLLANCAMAN																																																									
Stock sujeto a disponibilidad al momento de la compra																																																									

Señores : ANYEL ISABEL PALACIOS HUERTA
RUT : 19267978-8
Atención : ANYEL ISABEL PALACIOS HUERTA
Correo : ANYELPAHU@GMAIL.COM
Teléfono : 979565975
Vendedor : FRANCISCA LLANCAMAN
Centro : BI01 - Bioplastic Santiago
Of. Ventas : 0002 - Ofic Ventas Santiago

Fecha de emisión : 11.11.2020

OFERTA DE VENTAS N° 2030030653

De acuerdo a lo solicitado, tenemos el agrado cotizar a usted, lo que a continuación se detalla:

#	Código	Descripción	Cant.	UM	Prc. Unitario	Dcto. %	Total
1	EHR9300	Estanque Horizontal Reforzado 9300 Lts M	1	UND	1.593.680	25,000	1.195.260
2	EVS630	Estanque Vertical Estandar 630 Lts. MOne	1	UND	70.694	25,000	53.021
3	EVAS1000	Estanque Vertical Abierto Estandar 1000	1	UND	97.501	25,000	73.126

Condición de : D000 - Contado

Vía de pago : Efectivo ing

Oferta válida : 15.12.2020

Ind.Gestion : -

Creado por : FLLANCAMAN

Total Neto 1.321.407

IVA 19% 251.067

Total 1.572.474

Stock sujeto a disponibilidad al momento de la compra

14.1.6. Compuestos químicos

Producto	ACIDO CLORHIDRICO
Cantidad	1
Formato	25KG
Monto Total Neto	\$ 34.200 + IVA
Producto	CLORURO FERRICO
Cantidad	1
Formato	25KG
Monto Total Neto	\$ 21.000 + IVA



Cloruro Férrico

-

1

+

AÑADIR AL CARRITO

*Cantidad en KG/LT

Productos Químicos Chile es especialista en la venta de Cloruro Férrico 42%. El Cloruro Férrico 42% es un producto químico altamente versátil con propiedades únicas.

Posee un alto poder de formación de flóculos, característica que es utilizada para diversas aplicaciones. Por ejemplo, es un eficiente coagulante en el tratamiento de aguas residuales, aguas industriales y agua potable. Además, el cloruro férrico ha sido utilizado por muchos años como un acondicionador de lodos, etapa previa a la filtración.

También es ampliamente utilizado como agente lixiviante, para la obtención y purificación de molibdeno, para el abatimiento de metales pesados como arsénico, para el grabado y tratamiento de superficies metálicas, etc. La utilización del cloruro férrico se va extendiendo al presentar ventajas técnicas y económicas con relación a otros productos utilizados en la coagulación de muchas aguas, especialmente en aquellas que poseen un elevado pH de floculación.



Acido Clorhidrico

-

1

+

AÑADIR AL CARRITO

*Cantidad en KG/LT

Productos Químicos Chile es especialista en la venta de Acido Clorhidrico en Chile. El Ácido Clorhídrico, agua fuerte o salmúan, es una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno (HCl). Es muy corrosivo y ácido. Se emplea comúnmente como reactivo químico y se trata de un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa.

El Acido Clorhídrico se utiliza sobre todo como ácido barato, fuerte y volátil. El uso más conocido es el de desincrustante para eliminar residuos de caliza (carbonato cálcico: CaCO_3). En esta aplicación se transforma el carbonato cálcico en cloruro cálcico más soluble y se liberan dióxido de carbono (CO_2) y agua.

El Acido Clorhidrico también tiene sus precauciones como enrojecimiento en la piel y ojos, problemas respiratorios al inhalarlo y dolor de estómago, vomito, quemazón en la garganta y también evitar el vomito ya que tendría mas problemas dañinos.

14.2. Hojas de seguridad de compuestos químicos

14.2.1. Cloruro Férrico



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Fecha de versión: 30/11/2017
Versión: 04

Sección 1: Identificación del producto químico y de la empresa

Identificación del producto químico	: Cloruro férrico en solución
Usos recomendados	: Uso industrial.
Restricciones de uso	: Preparación de alimentos destinados al uso humano o animal.
Nombre del proveedor	: Oregon Chem Group
Dirección del proveedor	: Santa Victoria 0372. Santiago de Chile.
Número de teléfono del proveedor.	: (+56 2) 26352640
Número de teléfono de emergencia en Chile	: (+56 2) 26352640 / 800 550 777
Número de teléfono de información toxicológica en Chile	: CITUC: (+56-2) 2635 3800 Emergencias toxicológicas
Dirección electrónica del proveedor.	: info@oregonchem.com
Fax	: (+56 2) 2 6352640

Sección 2: Identificación de los peligros

Clasificación según NCh382	: Clase 8: Sustancias Corrosivas.
Distintivo según NCh2190	:



Clasificación según SGA	: Sustancias y mezclas corrosivas para los metales. Categoría 1. Toxicidad aguda por ingestión. Categoría 4. Corrosión cutánea. Categoría 2. Lesiones oculares graves. Categoría 1.
-------------------------	--

Etiqueta SGA



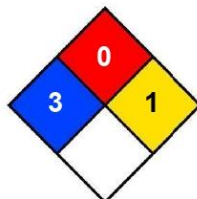
Palabra de advertencia	: PELIGRO
Indicaciones de peligro	: H290 Puede ser corrosivo para los metales. H302 Nocivo en caso de ingestión. H315 Provoca irritación cutánea. H318 Provoca lesiones oculares graves.



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

Indicaciones de precaución	:	P234	Conservar únicamente en el embalaje original.
		P264	Lavar las manos cuidadosamente después de la manipulación.
		P270	No comer, beber o fumar mientras se manipula el producto.
		P280	Usar guantes de protección/equipo de protección para los ojos/la cara.
		P301+P312	EN CASO DE INGESTION: Llamar a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA/médico si la persona se encuentra mal.
		P302+P352	EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con abundante agua.
		P305+P351+P338	EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
		P321	Tratamiento específico (véase en el sector 4 de la HDS).
		P330	Enjuagarse la boca.
		P332+P313	En caso de irritación cutánea: Consultar a un médico.
		P362+P364	Quitar la ropa contaminada y lavarla antes de volverla a usar.
		P390	Absorber el vertido para prevenir daños materiales.
		P406	Almacenar en un recipiente resistente a la corrosión/en un recipiente con revestimiento interior resistente.
		P501	Eliminar el contenido/recipiente conforme a la reglamentación nacional.

Señal de seguridad según NCh1411/4



Clasificación específica	:	No aplica.
Distintivo específico	:	No aplica.
Descripción de peligros	:	Puede causar lesiones graves en los ojos, irritación severas en la piel, fuertes irritaciones en las vías respiratorias e irritación fuerte por ingestión.
Descripción de peligros específicos	:	Corrosivo para metales
Otros peligros	:	Ninguno.



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

Sección 3: Composición/información de los componentes

Tipo de sustancia : Mezcla

	Componente 1
Denominación química	Tricloruro de hierro
Nombre común o genérico	Cloruro férrico
Rango de concentración	39-45%
Número CAS	7705-08-0
Número CE	231-729-4

Sección 4: Primeros auxilios

Inhalación	: Sacar a la persona al aire fresco. Llamar a un médico de inmediato, puede ocasionar problemas respiratorios.
Contacto con la piel	: Lavar de inmediato la piel con abundante agua a lo menos por 15 minutos. Retirar ropa contaminada. Si la irritación persiste consultar a un médico.
Contacto con los ojos	: Enjuagar de inmediato con agua al menos 15 minutos. Sacar lentes de contacto. Debe estar los párpados abiertos en todo momento. Consulte a un médico de inmediato.
Ingestión	: No inducir el vómito. Si el afectado está consciente dar a beber grandes cantidades de agua. Solicite asistencia médica de inmediato.
Efectos agudos previstos	Puede causar lesiones graves en los ojos, irritación severas en la piel, fuertes irritaciones en las vías respiratorias e irritación fuerte por ingestión.
Efectos retardados previstos	: El contacto prolongado con los ojos puede causar descoloración marrón. La exposición repetida o alta puede llevar a una acumulación excesiva de hierro en el organismo, causando náuseas, dolor de estómago, vómitos y estreñimiento. La ingesta excesiva de hierro crónica puede conducir a la hem siderosis con posibles daños en el hígado y el páncreas.
Síntomas/efectos importantes	más : Nocivo en caso de ingestión. Puede causar lesiones oculares graves e irritación en la piel.
Protección de quienes brindan los primeros auxilios	: Se recomienda a las personas que dispensan los primeros auxilios el uso de equipos de protección individual. Cuando las concentraciones sean elevadas y no cumplan con los límites permisibles, utilizar respirador con filtro para gases ácidos, antiparras y/o careta facial, guantes de neopreno, ropa y botas de goma resistentes a productos químicos. No usar el método de respiración de boca a boca si la víctima ingirió o inhaló la sustancia: proporcione la respiración artificial con la ayuda de una máscara de bolsillo con una válvula de una sola vía u otro dispositivo médico de respiración.
Notas especiales para un médico tratante	: Informar al médico sobre las características del producto y tipo de contacto. Presentar esta Hoja de Datos de Seguridad al momento de la atención. Diluir sólo si el paciente está en condiciones de deglutir, queda contraindicado el uso de sustancias neutralizantes ya que producen reacciones desprendiendo calor, provocando una mayor destrucción de los tejidos que se suma a la producida por la sustancia.



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

Sección 5: Medidas para lucha contra incendios

Agentes de extinción	: No es inflamable ni explosivo, pero si queda expuesto a un incendio, se debe apagar con CO ₂ o polvo químico seco.
Agentes de extinción inapropiados	: Evitar el contacto directo con agua.
Productos que se forman en la combustión y degradación térmica	: Cloruro de Hidrógeno e Hidrógeno gas.
Peligros específicos asociados	: Existe riesgo latente de fuego ya que el producto al entrar en contacto con los metales, genera hidrogeno gaseoso, el cual es altamente inflamable.
Métodos específicos de extinción	: Aplicar agua en forma de neblina o lluvia, para enfriar envases o estructuras metálicas circundantes.
Precauciones para el personal de emergencia y/o los bomberos.	: Equipo de respiración autónomo (ERA), botas de seguridad, ropa de seguridad para corrosivos.

Sección 6: Medidas que se deben tomar en caso de derrame accidental

Precauciones personales	: Evitar el contacto con el producto. Evitar inhalar neblinas o vapores. Asegurar una ventilación apropiada. Evacuar el personal a zonas seguras.
Equipos de protección	: Evitar el contacto con el producto, a través del uso de elementos de protección personal (ver sección 8).
Procedimientos de emergencia	: Aislar y ventilar el área. Apagar cualquier fuente de ignición. Evitar que el derrame se extienda. Cubrir con material absorbente inerte. Depositar residuos en envases cerrados y rotulados.
Precauciones medioambientales	: Evitar que el derrame alcance cursos de agua, alcantarillados, drenajes, terreno, vegetación. Hacer diques para contener.
Métodos y materiales de contención, confinamiento y/o abatimiento	: En caso de pequeños derramos evacuar y aislar área, hacer diques para contener derrame, absorber con arena seca. Depositar residuos en envases para disposición final.
Métodos y materiales de limpieza	
Recuperación	: Recuperar con material absorbente como arena o tierra seca.
Neutralización	: Neutralizar con cal apagada, ceniza de soda o soda caustica diluida. Esta reacción puede generar calor, por lo que se recomienda agregar lentamente. Evitar respirar gases si esta en lugar cerrado.
Disposición final	: Se deben enviar a destinatario autorizado, la instalación debe ser apta para tratar residuos peligrosos.
Medidas adicionales de prevención de desastres	de : Puede ser corrosivo para metales.



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

Sección 7: Manipulación y almacenamiento

Manipulación

Precauciones para la manipulación segura : Evitar contacto con ojos, piel y ropa. No inhalar vapores o neblinas. Manipular con elementos de protección personal adecuados (ver sección 8) y solo en recintos bien ventilados. Mantener el producto lejos de alimentos y condimentos. Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo. No fumar, comer y beber en las áreas de trabajo.

Medidas operacionales y técnicas : Disponer de elementos para la contención de derrames y de filtraciones. Procurar que no existan filtraciones en los envases y que todos estén etiquetados. Disponer ducha y lavajos para emergencias. Mantener aseadas las áreas de almacenamiento, con señalética de seguridad correspondiente

Otras precauciones : Evitar el contacto con metales, ya que puede causar corrosión de éstos y en algunos casos puede generar gas hidrógeno, el cual es altamente inflamable. Evitar la generación de vapores y/o aerosoles, mantener una ventilación adecuada.

Prevención del contacto : Evitar el contacto con productos incompatibles.

Almacenamiento

Condiciones para el almacenamiento seguro : Almacenar apartado de productos incompatibles en un lugar frío seco y con ventilación adecuada, lejos de fuentes de calor y de ignición.

Medidas técnicas : Almacenar en estanque de goma de fibra de vidrio reforzada con poliéster. La superficie exterior del estanque y otras áreas que estén expuestas a salpicaduras accidentales, deben estar protegidas por pinturas resistentes.

Sustancias y mezclas incompatibles : Hierro, cobre, níquel, plomo, aluminio; bases fuertes, agentes oxidantes fuertes potasio metálico.

Material de envase y/o embalaje : Materiales recomendados: Contenedores plásticos o revestidos con goma y poliéster
Materiales no recomendados: No usar envases metálicos.

Sección 8: Control de exposición/protección personal

Concentración máxima permisible

Valores límites (normativa nacional DS 594)			
Componente	Valor LPP	Valor LPT	Valor LPA
Cloruro férrico	No establecido	No establecido	No establecido

Valores límites (normativa internacional)			
Componente			
Cloruro férrico (sales de hierro)	ACGIH	(TWA)	: 1 mg/m ³
	NIOSH	(TWA)	: 1 mg/m ³
	OSHA	(TWA)	: 1 mg/m ³



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

Elementos de protección personal apropiados

Protección respiratoria	: Usar respirador con filtro para gases ácidos aprobado por la NIOSH o similar.
Protección de manos	: Usar guantes de protección adecuados (caucho, nitrilo) de puño largo.
Protección de ojos	: Usar lentes de protección para salpicaduras ajustados al rostro o protector facial. Debe haber lavajos cerca.
Protección de la piel y el cuerpo	: Usar ropa resistente a los productos químicos cuando exista posibilidad de entrar en contacto con el material.
Medidas de ingeniería	: Proveer de ventilación adecuada en lugares de trabajo. Se recomienda disponer de ducha y lavador de ojos en zonas de trabajo. Manipular con elementos de protección personal adecuados.

Sección 9: Propiedades físicas y químicas

Estado físico	: Líquido.
Forma en que se presenta	: Líquido café anaranjado.
Color	: Café anaranjado.
Olor	: Leve olor ácido
pH (concentración y t°)	: < 1
Punto de fusión/Punto de congelación	: -10°C (40% solución)
Punto de ebullición, punto inicial de ebullición y rango de ebullición	: 110°C (ebullición).
Punto de inflamación	: No disponible.
Límites de explosividad o inflamabilidad	: No disponible.
Presión de vapor	: 40 mm Hg (20°C).
Densidad relativa del vapor (aire= 1)	: No disponible.
Densidad	: 1.405 - 1.502 gr/ml (20°C).
Solubilidad	: 100% soluble en agua (20°C).
Coefficiente de partición octanol/ agua	: No disponible.
Temperatura de auto-ignición	: No disponible.
Temperatura de descomposición	: 480°C.
Umbral olfativo	: No disponible.
Tasa de evaporación	: No disponible.
Inflamabilidad (sólido, gas)	: No inflamable.
Viscosidad	: No disponible.

Sección 10: Estabilidad y reactividad

Estabilidad química	: Estable bajo condiciones normales.
Reacciones peligrosas	: Puede formar gases tóxicos en contacto con ácidos y bases. Además la reacción con metales puede formar hidrógeno gaseoso (gas inflamable).



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

- Condiciones que se deben evitar** : Evitar temperaturas extremas, fuentes de ignición y materiales incompatibles.
- Materiales incompatibles** : Hierro, cobre, níquel, plomo, aluminio; bases fuertes, agentes oxidantes fuertes potasio metálico.
- Productos de descomposición peligrosos** : Cloruro de Hidrógeno e Hidrógeno.

Sección 11: Información toxicológica

- Toxicidad aguda (DL₅₀ y CL₅₀)** : Datos toxicológicos:

Componentes	DL ₅₀ Oral	DL ₅₀ Dermal	CL ₅₀ Inhalación
Cloruro férrico en solución 7647-01-0	2900 mg/kg (Solución al 40%) (Rata)	No disponible	No disponible

- Irritación/corrosión cutánea** : El cloruro férrico en solución provoca irritación cutánea (Categoría 2, H315), según criterios del GHS.
- Lesiones oculares graves/irritación ocular** : El cloruro férrico en solución provoca lesiones oculares graves (Categoría 1, H318), según criterios del GHS.
- Sensibilización respiratoria o cutánea** : El cloruro férrico en solución no es clasificado como sensibilizante, según criterios del GHS.
- Mutagenicidad de células reproductoras /in vitro** : El cloruro férrico en solución no es clasificado como mutagénicos, según criterios del GHS.
- Carcinogenicidad** : El cloruro férrico en solución no es clasificado como cancerígeno, según criterios del GHS y IARC.
- Toxicidad reproductiva** : El cloruro férrico en solución no es clasificado como tóxico reproductivo, según criterios del GHS.
- Toxicidad específica en órganos particulares-exposición única** : El cloruro férrico en solución no es clasificado como tóxico específico en órganos particulares por exposición única, según criterios del GHS.
- Toxicidad específica en órganos particulares-exposiciones repetidas** : El cloruro férrico en solución no es clasificado como tóxico específico en órganos particulares por exposiciones repetidas, según criterios del GHS.
- Peligro de inhalación** : La inhalación en altas concentraciones puede causar quemaduras, irritación nasal o pulmonar, tos y dolor de garganta. Sin embargo, no es clasificado como peligro de aspiración, según criterios del GHS.
- Toxicocinética** : No disponible.
- Metabolismo** : No disponible.
- Distribución** : No disponible.
- Patogenicidad e infecciosidad aguda (oral, dérmica e inhalatoria)** : No aplica.
- Disrupción endocrina** : No disponible.
- Neurotoxicidad** : No disponible.
- Inmunotoxicidad** : No disponible.
- Síntomas relacionados** : No disponible.
- Vías de exposición**
- Inhalación** : La inhalación en altas concentraciones puede causar quemaduras, irritación nasal o pulmonar, tos y dolor de garganta.



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

Contacto con la piel	: Puede causar irritación fuerte. Algunos síntomas incluyen enrojecimiento, ardor, hormigueo y/o dolor entre otros.
Contacto ocular	: Pueden causar irritación, dolor, quemaduras y trastornos visuales.
Ingestión	: Puede causar irritación, quemaduras en boca, esófago y estómago; náuseas y vómitos.

Sección 12: Información ecológica

Ecotoxicidad (EC, IC y LC)	: No disponible.
Persistencia y degradabilidad	: Se dice que este material existe en estado disociado en el medio Ambiente. Sin embargo, los métodos para determinación de la biodegradabilidad no son aplicables a las sustancias inorgánicas.
Potencial de bioacumulación	: Se estima que el material no es bioacumulable.
Movilidad en el suelo	: Debido a la extremadamente baja solubilidad de los óxidos de Fe^{3+} , en el rango de pH normal en suelos, el hierro liberado es precipitado rápidamente como óxidos o hidróxidos. Solo una pequeña parte del hierro oxidado es incorporado a silicatos laminares secundarios (arcillas) y/o es complejoado por la materia orgánica.
Otros efectos adversos	: Si se hidroliza forma precipitado de hidróxido férrico (pH: 5 - 7), por lo que disminuye el pH del agua, pudiendo causar un efecto toxico en peces y volviéndose peligroso incluso en forma diluida. Si existen fosfatos, se pueden generar complejos de fosfatos metálicos.

Sección 13: Información sobre la disposición final

Métodos de disposición final para residuos, envases y embalajes contaminados y cualquier material contaminado, de acuerdo a la normativa nacional vigente.	: El residuo puede ser considerado "peligroso", según DS 148: Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos, artículo 18, lista II (código II.16) Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida. En caso que la sustancia esté contaminada, se debe reevaluar su peligrosidad. Es responsabilidad del generador del residuo identificar su nivel de peligrosidad, manipularlo y eliminarlo adecuadamente cumpliendo con la legislación nacional vigente.
---	--



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

Sección 14: Información sobre el transporte

	Modalidad de transporte		
	Terrestre	Marítima	Aérea
Regulaciones	DS298	IMDG	2582
Número NU	2582	2582	Cloruro férrico en solución
Designación oficial de transporte	Cloruro férrico en solución	Cloruro férrico en solución	Sustancias corrosivas
Clasificación de peligro primario NU	Sustancias corrosivas	Sustancias corrosivas	No aplica
Clasificación de peligro secundario NU	No aplica	No aplica	III
Grupo de embalaje/envase	III	III	No
Peligro Ambientales	No	No	Ninguno
Precauciones especiales	Ninguno	Ninguno	2582

Transporte a granel con arrego al anexo II del convenio Marpol 73/78 y el código IBC : Cloruro férrico en solución.
Tipo de buque: 3.
Categoría de contaminación: Y

Sección 15: Información reglamentaria

- Regulaciones nacionales** :
- NCh2245:2015.** Hoja de datos de seguridad para producto químicos-contenido y orden de las secciones.
 - NCh1411/4-2001.** Prevención de riesgos – Parte 4: identificación de riesgos de materiales.
 - NCh382:2013.** Sustancias Peligrosas-Clasificación
 - NCh2190.Of2003.** Transporte de sustancias peligrosas-Distintivo para identificación de riesgos.
 - DS N°40, 1969 (Última versión 16/09/1995)** Reglamento sobre prevención de riesgos profesionales.
 - DS N°298, 1995 (Última versión 02/02/2002).** Reglamento sobre transporte de cargas peligrosas por calles y caminos.
 - DS N°148, 2004 (Versión única).** Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos.
 - DS N°594, 1999 (Última versión 23/07/2015).** Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.
 - DS N°43, 2016 (Versión única).** Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas.
 - RES. EX. N° 408, 2016 MIN. SALUD.** Listado de Sustancias Peligrosas para la Salud.
- Regulaciones internacionales** :
- NFPA 704, 2017.** Sistema normativo para la identificación de los riesgos de materiales para respuesta a emergencias.
 - USA:** Sustancias no listada como sustancia peligrosa (DOT)
 - OSHA.** Occupational Safety and Health Administration.
 - NIOSH.** The National Institute for Occupational Safety and Health.
 - ACGIH.** American Conference of Governmental Industrial Hygienist
 - GHS.** Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.
 - REACH.** Reglamento (CE) N°1907/2006 del Parlamento europeo y del consejo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos.
 - CLP.** Reglamento (CE) 1272/2008 del Parlamento europeo y del consejo sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.
 - ANEXO V DEL CONVENIO MARPOL 73/78.** Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques.



CLORURO FERRICO EN SOLUCION

CÓDIGO IMSBC. Código Marítimo Internacional de cargas sólidas a granel.

CODIGO IMDG. International Maritime Dangerous Goods.

CODIGO IATA. International Air Transport Association.

El receptor debería verificar la posible existencia de regulaciones locales aplicables al producto químico.

Sección 16: Otras informaciones

Control de cambios del documento

: Cuarta versión.

LPP : Límite permisible ponderado.

LPT : Límite permisible temporal.

TWA : Time Weighted Average

CAS : Chemical Abstracts Service.

GHS : Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos.

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales).

NIOSH : National Institute of Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional).

OSHA : Occupational Safety and Health Administration (Administración de Seguridad y Salud Ocupacional)

IMDG : International Maritime Dangerous Goods.

IATA : International Air Transport Association.

IUPAC : International Union of Pure and Applied Chemistry

Referencias bibliográficas

: Visto por última vez: Noviembre-2017

└ http://risctox.istas.net/dn_risctox_buscadore.asp

└ <http://echa.europa.eu/information-on-chemicals>

└ <https://www.osha.gov/dsg/annotated-peis/tablez-3.html>

└ <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1034sp.pdf>

Directrices

: La presente Hoja de Datos de Seguridad (HDS) se homologó, de acuerdo a los requisitos y formatos exigidos por la NCh2245:2015. Ésta se realiza a partir de la HDS original del producto (Cloruro férrico-, complementada con referencias técnicas validadas).

Este documento entrega información básica, necesaria para prevenir riesgos o atender situaciones que puedan presentarse durante la exposición a esta sustancia o mezcla (Derecho a saber - Decreto Supremo N°40).

La información contenida en la presente HDS es de uso público.

Homologación Técnica en español de acuerdo a la NCh2245.Vigente

: Elaborado por: Katherine Medina V.

Revisada por: Maria Elizabeth Castañon U.

Aprobada por: Ximena Sanchez Z.

Fecha de última actualización: Noviembre 2017

DOCU-PRSE-534.06-04



14.2.2 Ácido Clorhídrico

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO

Rótulo NFPA



Rótulos UN



Fecha Revisión: 19/12/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto: ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO

Sinónimos: Acido muriático, Cloruro de hidrógeno (cuando es gaseoso), Acido hidrocórico, Espíritus de sal

Fórmula: HCl

Número interno:

Número UN: 1789

Clase UN: 8

Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad: Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.

Teléfonos de Emergencia:

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES				
Componente	CAS	TWA	STEL	%
Acido Hidrocórico	7647-01-0	N.R. (ACGIH 2004)	Ceiling: 2 ppm (ACGIH 2004)	37
Agua	7732-18-5	N.R. (ACGIH 2004)	N.R. (ACGIH 2004)	63

Uso: Síntesis química, procesamiento de alimentos (jarabe de maíz, glutamato de sodio), acidificación (activación) de pozos de petróleo, reducción de minerales, decapado y limpiado de metales, acidificante industrial, limpieza en general, p. ej. de membranas en plantas de desalinización, desnaturalizante de alcohol.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Líquido incoloro o ligeramente amarillo. ¡Peligro! Corrosivo e higroscópico. Puede ocasionar severa irritación al tracto respiratorio o digestivo, con posibles quemaduras. Puede ser nocivo si se ingiere. Produce efectos fetales de acuerdo con estudios con animales. Puede ser fatal si se ingiere o se inhala. Puede ser sensibilizador. Órganos blanco: sistema respiratorio, dientes, ojos, piel y sistema circulatorio.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Corrosivo. Exposición ligera: irritación nasal, quemaduras, tos y sofocación. Exposición prolongada: quemaduras, úlceras en la nariz y la garganta. Si la concentración es elevada causa ulceración de la nariz y la garganta, edema pulmonar, espasmos, shock; falla circulatoria, incluso la muerte. Los síntomas del edema pulmonar pueden ser retardados.

Ingestión: Corrosivo. Puede generar quemaduras en la boca, garganta, esófago y estómago; náuseas, dificultad al comer, vómito, diarrea; en casos graves, colapso y muerte. Puede ser fatal en concentraciones o dosis elevadas. En caso de broncoaspiración puede causar daños graves a los pulmones y la muerte.

Piel: Puede causar inflamación, enrojecimiento, dolor y quemaduras, dependiendo de la concentración.

ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO

CISPROQUIM 1

Ojos:	Corrosivo. Produce Irritación, dolor, enrojecimiento y lagrimeo excesivo. La solución concentrada o una sobreexposición a los vapores puede causar quemaduras de la córnea y pérdida de la visión.
Efectos crónicos:	Asma ocupacional. Las exposiciones repetidas a bajas concentraciones pueden generar coloración café y daños en el esmalte de los dientes, y dermatitis. La frecuente inhalación puede ocasionar sangrado de la nariz. También han sido reportadas bronquitis crónica y gastritis.

SECCIÓN 4: PROCEDIMIENTOS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial (evitar el método boca a boca). Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.
Ingestión:	Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Si éste se produce de manera natural, inclinar la persona hacia el frente para evitar la broncoaspiración. Suministrar más agua. Buscar atención médica.
Piel:	Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.
Ojos:	Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.
Nota para los médicos:	Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología, que brinde información para el manejo médico de la persona afectada, con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.

SECCIÓN 5: MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO

Punto de inflamación (°C):	N.A.
Temperatura de autoignición (°C):	N.A.
Límites de inflamabilidad (%V/V):	N.A.
Peligros de incendio y/o explosión:	No es inflamable, pero en contacto con metales libera hidrógeno el cual es inflamable.
Medios de extinción:	Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de fuego del alrededor. En caso de grandes incendios use agua en forma de rocío, espuma resistente al alcohol.
Productos de la combustión:	Produce humos tóxicos más pesados que el aire. Al ser calentada la solución libera vapores tóxicos de cloruro de hidrógeno. A temperaturas superiores de 1500°C, libera cloro e hidrógeno.
Precauciones para evitar incendio y/o explosión:	Mantener lejos de fuentes de calor. Evitar que entre en contacto con sustancias incompatibles, como metales. Mantener buena ventilación a nivel del piso y no almacene en lugares altos.
Instrucciones para combatir el fuego:	Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Retirar los contenedores expuestos si no hay riesgo, en caso contrario, enfriarlos aplicando agua en forma de rocío en la parte externa, desde una distancia segura. Utilizar protección personal.

SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventile el área. No tocar el líquido, ni permita el contacto directo con el vapor. Eliminar toda fuente de calor. Evitar que la sustancia caiga en alcantarillas, zonas bajas y confinadas, para ello construya diques con arena, tierra u otro material inerte. Dispersar los vapores con agua en forma de rocío. Mezclar con soda o cal para neutralizar. Recoger y depositar en contenedores herméticos para su posterior disposición. Lavar la zona con abundante agua.

SECCIÓN 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO

CISPROQUIM 2

Manejo:	Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Evitar la liberación de vapor en las áreas de trabajo. Para diluir o preparar soluciones, adicionar lentamente el ácido al agua para evitar salpicaduras y aumento rápido de la temperatura. Debe tenerse cuidado con el producto cuando se almacena por períodos prolongados.
Almacenamiento:	Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor, ignición y de la acción directa de los rayos solares. Separar de materiales incompatibles tales como agentes oxidantes, reductores y bases fuertes. Rotular los recipientes adecuadamente y manténgalos herméticamente cerrados. Proveer el lugar de un sistema de desagüe apropiado y con piso resistente a la corrosión. El sistema de ventilación debe ser resistente a la corrosión. Madera y otros materiales orgánicos combustibles, no deben ser usados sobre los pisos y estructuras del almacenamiento. Los contenedores no deben ser metálicos. El área de almacenamiento debe corresponder a corrosivos.

SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCIÓN PERSONAL

Controles de ingeniería:	Ventilación local y general resistente a la corrosión, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Se debe considerar la posibilidad de encerrar el proceso. Se debe garantizar el control de las condiciones del proceso. Suministre aire de reemplazo continuamente para suplir el aire removido. Debe disponerse de duchas y estaciones lavajos.
---------------------------------	---

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Protección de los ojos y rostro:	Gafas de seguridad resistente a químicos con protección lateral.
Protección de piel:	Guantes overol y botas. Los materiales resistentes son: neopreno, nitrilo/polivinil cloruro, polietileno clorado, viton/neopreno, caucho natural, nitrilo, viton, butil/neopreno, clorobutilo, policarbonato, neopreno/PVC, caucho estireno butadieno
Protección respiratoria:	Respirador con filtro para vapores ácidos.
Protección en caso de emergencia:	Equipo de respiración autónomo (SCBA) y ropa de protección total que incluya: guantes, gafas, ropa de PVC y botas de caucho.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Apariencia, olor y estado físico:	El ácido clorhídrico es un líquido humeante incoloro o amarillo claro con olor penetrante e irritante.
Gravedad específica (Agua=1):	1.184
Punto de ebullición (°C):	50 a 760 mm Hg.
Punto de fusión (°C):	-66
Densidad relativa del vapor (Aire=1):	1.27
Presión de vapor (mm Hg):	158 a 20 °C.
Viscosidad (cp):	0.48 a -155 °C.
pH:	0.1 (1N); 2.01 (0.01N).
Solubilidad:	Soluble en agua, alcoholes, éter y benceno. Insoluble en hidrocarburos.

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química:	Estable bajo condiciones normales de manipulación y almacenamiento. Es sensible a la luz solar directa.
Condiciones a evitar:	Calor, luz solar directa y materiales incompatibles.
Incompatibilidad con otros materiales:	Agua, metales activos, álcalis, óxidos metálicos, hidróxidos, aminas, carbonatos, anhídrido acético, óleum, ácido sulfúrico, vinil acetato, aldehídos, epóxidos, agentes reductores y oxidantes, sustancias explosivas, cianuros, sulfuros, carburos, acetiluros, boruros.
Productos de descomposición peligrosos:	Emite vapores tóxicos de cloruro de hidrógeno cuando se calienta hasta la descomposición y reacciona con agua o vapor de agua para producir calor y vapores tóxicos y corrosivos. La descomposición térmica oxidativa produce vapores tóxicos de cloro y explosivo gas de hidrógeno.

ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO

CISPROQUIM 3

Polimerización peligrosa: No ocurre polimerización.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Los valores de toxicidad se han reportado para el producto concentrado

DL50 (Intraperitoneal, ratón)=40,142 mg/Kg.

DL50 (oral, conejo)=900 mg/Kg.

LC50/1 H (inhalación, ratones)=1108 ppm.

LC50 (inhalación, ratas) = 3124 ppm/1 H.

La IARC (Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer) clasificó esta sustancia en el Grupo 3: no carcinogénico para humanos. Se está investigando por efectos mutágenicos, teratogénicos y reproductivos.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El principal efecto en el medio acuático es la alteración del pH, el cual dependiera de la concentración del ácido. Este ácido se caracteriza por disociarse totalmente; por lo tanto puede afectar significativamente las condiciones normales del medio acuático. Toxicidad peces: CL50/96 H (agua fresca, pez Mosquito) =282 ppm. Es mortal a concentraciones mayores de 25 mg/L.

El producto en la superficie del suelo es biodegradable. Si se localiza dentro del suelo se puede filtrar a las fuentes de agua superficiales.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

Debe tenerse presente la legislación ambiental local vigente relacionada con la disposición de residuos para su adecuada eliminación.

Considerar el uso del ácido diluido para neutralizar residuos alcalinos. Adicionar cuidadosamente ceniza de soda o cal, los productos de la reacción se pueden conducir a un lugar seguro, donde no tenga contacto el ser humano, la disposición en tierra es aceptable.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

Etiqueta negra y blanca de sustancia corrosiva. También se clasifica como sustancia peligrosa para el medio ambiente (Clase 9.2). No transporte con sustancias explosivas, gases venenosos, sustancias que puedan presentar combustión espontánea, comburentes, peróxidos, radiactivos ni sustancias con riesgo de incendio.

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

1. Ley 769/2002. Código Nacional de Tránsito Terrestre. Artículo 32: La carga de un vehículo debe estar debidamente empacada, rotulada, embalada y cubierta conforme a la normatividad técnica nacional.

2. Decreto 1609 del 31 de Julio de 2002, Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.

3. Ministerio de Transporte. Resolución número 3800 del 11 de diciembre de 1998. Por el cual se adopta el diseño y se establecen los mecanismos de distribución del formato único del manifiesto de carga.

4. Los residuos de esta sustancia están considerados en: Ministerio de Salud. Resolución 2309 de 1986, por la cual se hace necesario dictar normas especiales complementarias para la cumplida ejecución de las leyes que regulan los residuos sólidos y concretamente lo referente a residuos especiales.

5. Ministerio de Justicia. Ley 30 de 1986. Por la cual se adopta el Estatuto Nacional de Estupefacientes y se dictan otras disposiciones.

Ministerio de Justicia. Resolución 0009 del 18 de febrero de 1987. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución No 0031 de junio 13 de 1991. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución No 007 de 1992. Consejo Nacional de Estupefacientes. Resolución 0001 del 30 de enero de 1995 por el cual se adiciona la resolución 09 de 1987. Mediante las cuales se establecen regulaciones para aquellas sustancias que puedan utilizarse para el procesamiento de drogas que producen dependencia.

SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES

La información relacionada con este producto puede no ser válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular

Bibliografía

ACIDO CLORHIDRICO LIQUIDO

CISPROQUIM 4